REKAYASA GEMPA

DILENGKAPI DENGAN ANALISIS

BEBAN GEMPA

SESUAI SNI - 03 - 1726 - 2002

Dr. Ir. Suharjanto, M.S.C.E.

REKAYASA GEMPA

(DILENGKAPI DENGAN ANALISIS BEBAN GEMPA SESUAI SNI - 03 - 1726 - 2002)

SUHARJANTO

JAYABADRA UNIVERSITY PRESS

REKAYASA GEMPA

(DILENGKAPI DENGAN ANALISIS BEBAN GEMPA SESUAI SNI-03-1726-2002)

Suharjanto

© penulis

Desain cover : Edy Basley
Layout : Bernadia Errisa Maharani

Cetakan pertama, Februari 2013

Diterbitkan oleh Penerbit Kepel Press
Untuk Janabadra University Press
Universitas Janabadra Yogyakarta

ISBN : 978-602-9374-52-0

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit

Dicetak oleh percetakan Amara Books
Isi di luar tanggung jawab percetakan

KATA PENGANTAR

Gempa bumi yang sering terjadi di Indonesia hampir selalu menelan korban jiwa. Namun dapat dipastikan bahwa korban jiwa tersebut bukan diakibatkan secara langsung oleh gempa, tetapi diakibatkan oleh keruntuhan bangunan pada saat terjadi gempa dan mengakibatkan koban jiwa.

Hal tersebut diminimalkan dengan membuat suatu bangunan yang tahan gempa. Yang dimaksud dengan bangunan tahan gempa disini adalah bangunan yang tidak mengalami kerusakan pada saat terjadi gempa ringan, mengalami kerusakan non struktural yang dapat diperbaiki pada saat terjadi gempa sedang, dan tidak runtuh tetapi hanya mengalami kerusakan struktural dan non struktural pada saat terjadi gempa kuat.

Untuk lebih mendalami tentang perilaku dan anlisis beban beban akibat gempa maka disusunlah buku Rekayasa Gempa yang dilengkapi dengan analisis Beban Gempa Berdasar SNI-03-1726-2002 khususnya untuk Gedung Beraturan dengan ketinggian dibawah 40 meter, dengan metode Beban Gemapa Statik Ekivalen. Buku ini diharapkan akan bermanfaat bagi masyarakat, praktisi maupun akademisi yang diharapkan bermanfaat bagi semua kalangan.

Yogyakarta, 7 Februari 2013

Suharjanto

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR v
Daftar Isi vii

BAB 1 TEKNIK GEMPA DAN FENOMENA GEMPA

1.1 Definisi dan Deskripsi Gempa 1
1.2 Proses Terjadinya Gempa Bumi 2
1.3 Teori Lempeng Tektonik 3
1.4 Fenomena Gempa Bumi di Indonesia 9

BAB 2 SKALA DAN UKURAN GEMPA

2.1 Pusat Gempa, Hypocenter, Epicenter 16
2.2 Gelombang Gempa 19
2.3 Istilah-Istilah Dalam Gempa Bumi 21
2.4 Klasifikasi Gempa Bumi 22
2.5 Cara Menentukan Letak Epicenter 23
2.6 Skala Kekuatan Gempa 25
2.7 Alat Pencatat Gempa 39

BAB 3 KERUSAKAN STRUKTUR BANGUNAN AKIBAT GEMPA

3.1 Kerusakaan Permukaan Tanah (Surface Faulting) 42

3.2 Kerusakan Akibat Getaran di Permukaan Tanah 46
3.3 Kerusakan Akibat Kelongsoran Lereng Tanah 48
3.4 Kerusakan Akibat Bencana Tsunami 50

BAB 4 METODE PERHITUNGAN BEBAN GEMPA METODE STATIK EKUIVALEN (BERDASAR SNI - 03 - 1726 - 2002)

4.1 Konsep dan Definisi 58
4.2 Analisis Beban Statik Ekivalen 75
4.3 Perencanaan Gedung – Beban Statik Ekivalen 89
4.4 Ilustrasi Perhitungan Beban Gempa Statik Ekivalen 99

BAB 5 RANGKUMAN SISTEM STRUKTURAL BANGUNAN TINGGI PENAHAN BEBAN GEMPA (BERDASAR SNI - 03 - 1726 – 2002 DAN SNI 03-2847-2002)

5.1 Prinsip Rancangan Secara Umum 122
5.2 Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa..... 125
5.3 Sistem Struktur Dinding Geser 127
5.4 Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen 130

DAFTAR PUSTAKA 148

Bab 1

Teknik Gempa dan Fenomena Gempa

Bab 1 ini :

- Definisi dan deskripsi gempa
- Proses terjadinya gempa bumi
- Teori lempeng tektonik
- Fenomena gempa bumi di Indonesia

1.1 Definisi dan Deskripsi Gempa Bumi

Teknik Gempa dapat didefinisikan sebagai cabang dari teknik yang ditujukan untuk mengurangi bahaya gempa. Dalam arti luas Teknik Gempa meliputi penyelidikan dan penyelesaian masalah yang dibuat oleh gempa bumi yang merusak, yang meliputi perencanaan, perancangan, pembangunan dan pengelolaan struktur tahan gempa dan fasilitasnya.

Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau

berupa getaran kecil kecil yang sulit dirasakan manusia. Contoh getaran kecil adalah getaran yang disebabkan oleh lalu lintas, mobil, kereta api, tiupan angin pada pohon dan lain lain. Getaran seperti ini dikelompokan sebagai mikroseismisitas (getaran sangat kecil).

Berdasarkan hasil penelitian dari peneliti kebumian, menyimpulkan bahwa hampir 95 persen lebih gempa bumi alamiah yang cukup besar biasa terjadi di daerah batas pertemuan antar lempeng yang menyusun kerak bumi dan di daerah sesar atau *fault*. Bumi kita walaupun padat, selalu bergerak, dan gempa bumi terjadi apabila tekanan yang terjadi karena pergerakan itu sudah terlalu besar untuk dapat ditahan.

Indonesia termasuk negara yang sering tertimpa bencana gempa bumi. Gempa bumi baik yang skala kecil maupun skala besar pernah terjadi di Indonesia. Letak geografis Indonesia yang berada di pertemuan perbatasan 3(tiga) lempeng tektonik, yitu lempeng Australia,lempene Pacifin dan lemene Euroasia (lihat Gambar 2) mengakibatkan Indonesia menjadi daerah yang rawan gempa. Selain di Indonesia, negara yang sering terkena bencana gempa bumi adalah Jepang. Bahkan bisa dikatakan, Jepang adalah negara yang paling sering terkena bencana gempa bumi. Sekitar 90 persen gempa bumi terjadi di bawah air. Tepatnya, di daerah cincin api yang terletak di lingkaran Lautan Pasifik.

1.2 Proses Terjadinya Gempa Bumi

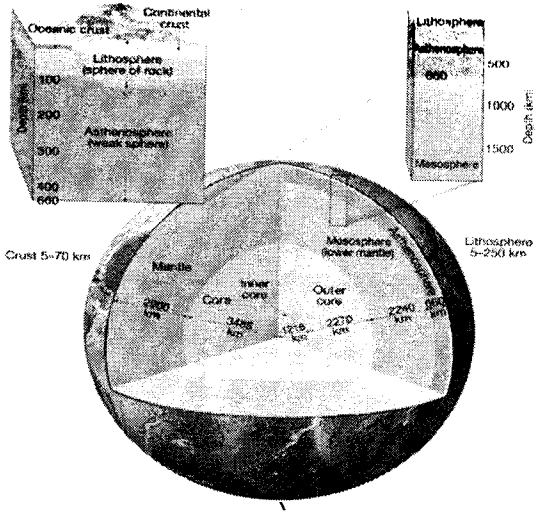
Kebanyakan gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya mencapai pada keadaan dimana tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh pinggiran lempengan. Pada saat itulah gempa bumi akan terjadi. Gempa bumi biasanya terjadi di perbatasan lempengan lempengan

tersebut. Gempa bumi yang paling parah biasanya terjadi di perbatasan lempengan kompresional dan translasional. Gempa bumi kemungkinan besar terjadi karena materi lapisan litosfer yang terjepit kedalam mengalami transisi fase pada kedalaman lebih dari 600 km. Beberapa gempa bumi lain juga dapat terjadi karena pergerakan magma di dalam gunung berapi. Gempa bumi seperti itu dapat menjadi gejala akan terjadinya letusan gunung berapi. Jika gunung tersebut mulai aktif, akan terjadi getaran di permukaan bumi dan itu termasuk gempa vulkanik.

Beberapa gempa bumi (namun jarang terjadi) juga terjadi karena menumpuknya massa air yang sangat besar di balik dam, seperti Dam Karibia di Zambia, Afrika. Sebagian lagi (jarang juga) juga dapat terjadi karena injeksi atau ekstraksi cairan dari/ke dalam bumi (contoh. pada beberapa pembangkit listrik tenaga panas bumi dan di Rocky Mountain Arsenal. Terakhir, gempa juga dapat terjadi dari peledakan bahan peledak. Hal ini dapat membuat para ilmuwan memonitor tes rahasia senjata nuklir yang dilakukan pemerintah. Gempa bumi yang disebabkan oleh manusia seperti ini dinamakan juga seismisitas terinduksi

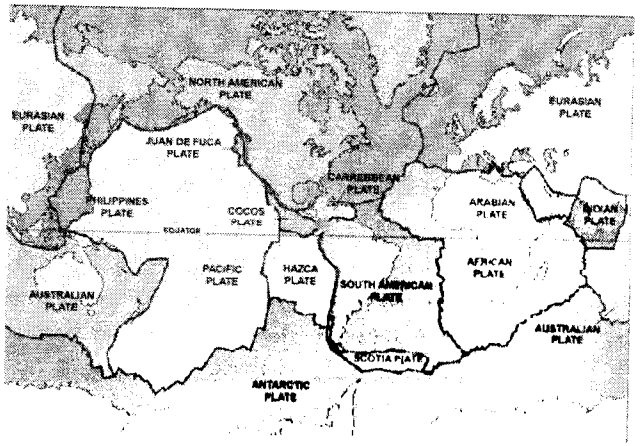
1.3 Teori Lempeng Tektonik

Bumi terdiri dari banyak lapisan. Lapisan terluar bumi adalah litosfer. Di bawah permukaan litosfer terdapat lapisan yang menyerupai kerang yang terdiri dari tujuh batu piringan tebal, seperti terlihat pada Gambar 1. Batu tersebut tebalnya sekitar 100 km yang bisa bergerak sepanjang 10 sentimeter tiap tahunnya. Gempa bumi sering terjadi karena adanya pergerakan di antara dua lapisan batu tebal. Gerakan batu itu juga bisa terjadi karena ada tekanan dari permukaan bumi selama bertahun-tahun. Pergeseran itulah yang membuat gempa bumi terjadi dan sering disebut sebagai gempa tektonik.



Gambar 1.1 Struktur Bumi
Sumber : metrianigucci.blogspot.com

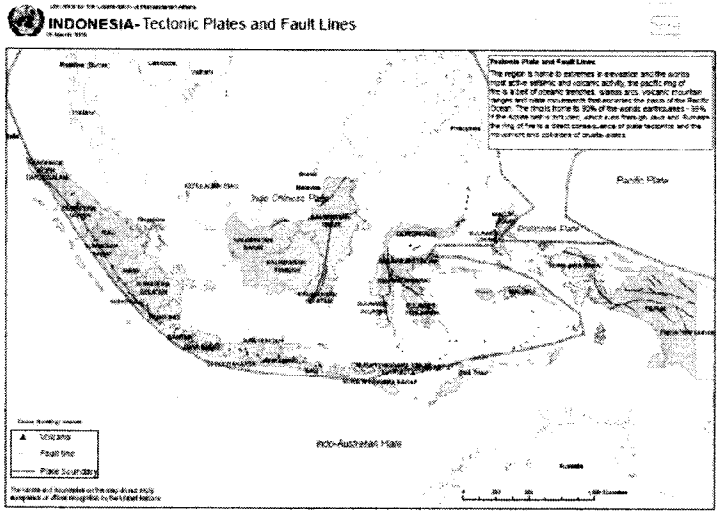
Lapisan kulit bumi terbagi dalam beberapa pelat atau lempeng tektonik seperti terlihat pada Gambar 1.2. Pelat tektonik yang satu dengan yang lainnya cenderung untuk bergerak.



Gambar 1.2. Peta Pelat Tektonik Dunia
(Sumber Gambar: www.ofspiritandsoul.com)

Potensi gempa di Indonesia memang terbilang besar, sebab berada dalam pertemuan sejumlah lempeng tektonik besar yang aktif bergerak. Kemudian interaksi lempeng India-Australia, Eurasia dan Pasifik yang bertemu di Banda serta pertemuan lempeng Pasifik-Asia di Sulawesi dan Halmahera. Kata Sukhyar, terjadinya gempa juga berkaitan dengan sesar aktif. Di antaranya sesar Sumatera, sesar Palu, atau sesar di yang berada di Papua. Ada juga sesar yang lebih kecil di Jawa seperti sesar Cimandiri, Jawa Barat.

Sedangkan peta pelat tektonik dan garis patahan atau sesar (*fault line*) di wilayah Indonesia terlihat pada Gambar 1.3 berikut.



Gambar 1.3 Pelat tektonik dan sesar di wilayah Indonesia
Sumber Gambar : www.*ochaonline.un.org*

Para peneliti kebumian berkesimpulan bahwa penyebab utama terjadinya gempa bumi berawal dari adanya gaya pergerakan di dalam interior bumi (gaya konveksi mantel) yang menekan kerak bumi (*outer layer*) yang bersifat rapuh,

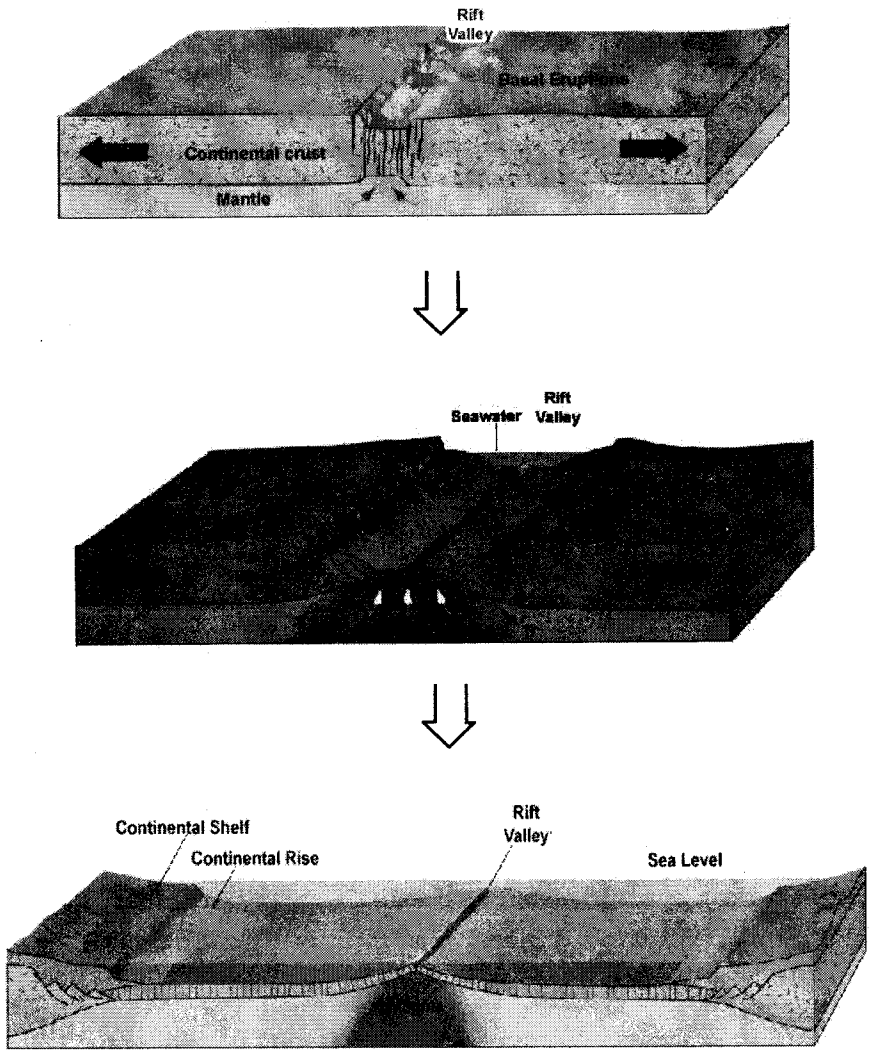
sehingga ketika kerak bumi tidak lagi kuat dalam merespon gaya gerak dari dalam bumi tersebut maka akan membuat sesar dan menghasilkan gempa bumi.

Akibat gaya gerak dari dalam bumi ini maka kerak bumi telah terbagi-bagi menjadi beberapa fragmen yang di sebut lempeng (*Plate*). Gaya gerak penyebab gempa bumi ini selanjutnya disebut gaya sumber tektonik (*tectonic source*).

Bentuk pergerakan pada batas pelat (*plate boundary*) yang satu dengan pelat yang lain secara garis besar dikelompokkan atas tiga pergeraakn sebagai berikut:

1. *Divergent plate boundaries* (saling menjauh)

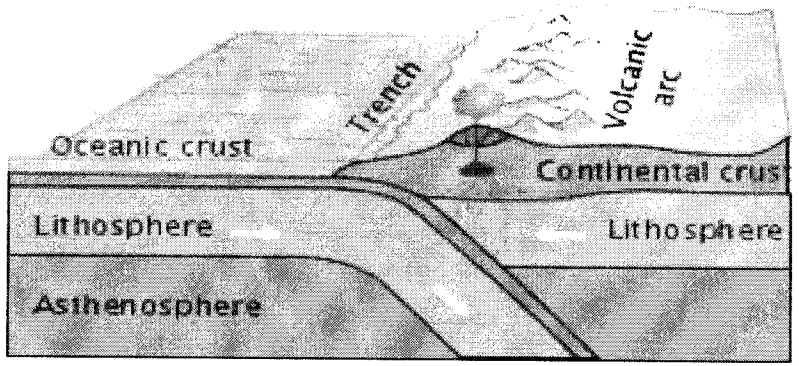
Pada Gambar 1.4, terlihat proses pergerakan pelat tektonik yang saling menjauh, sehingga terbentuk lembah pada boundary (Rift valley), yang memungkinkan terbukanya *mantle* dan magma di dalamnya terdorong keluar



Gambar 1.4 ***Divergent Plate Boundaries***
Sumber : www.belmont.sd62.bc.ca

2. *Convergent plate boundaries* (saling mendekat)

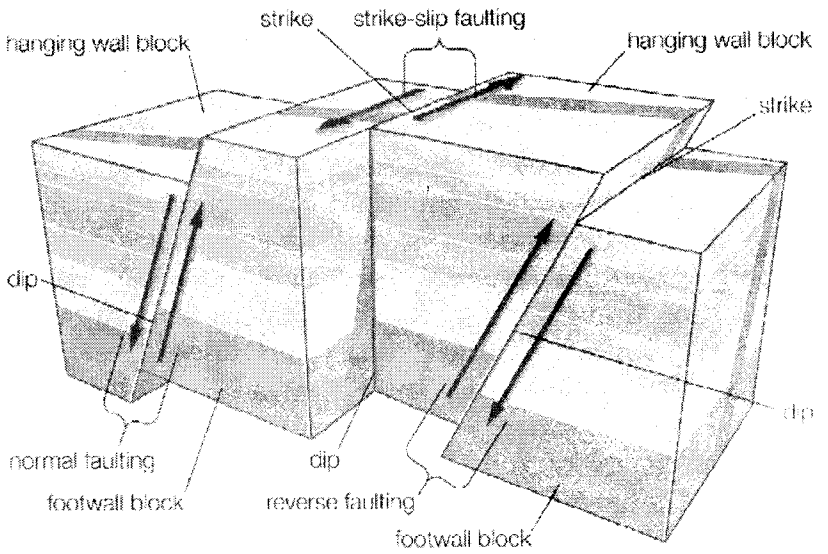
Pada Gambar 1.5, terlihat proses pergerakan pelat tektonik yang saling mendekat, pelat tektonik yang satu akan menelusup dibawah pelat tektonik yang lainnya, yang memungkinkan terbentuknya gelombang tsunami.



Gambar 1.5 ***Convergent Plate Boundaries***
Sumber : www.plainedgeschools.org

3. *Transform plate boundaries* (bergeser)

Pada Gambar 1.6, terlihat proses pergerakan pelat tektonik yang saling bergeser, pelat tektonik yang satu akan saling bergeser dalam arah samping atau bawah pelat tektonik yang lainnya, yang memungkinkan terbentuknya gelombang tsunami.



Gambar 1.6. ***Transform Plate Boundaries***
Sumber : www.britannica.com

Terjadi pada tanggal 27 Mei 2006. Gempa terjadi selama 57 detik dengan kekuatan 5,9 skala richter. Lebih dari 6000 jiwa meninggal. Titik pusat gempa pada koordinat 8.24° LS dan 110.43° BT pada kedalaman laut 33.000 meter.

1.4 Fenomena Gempa Bumi di Indonesia

Sejumlah wilayah di Indonesia berulang kali dilanda gempa bumi. Dalam rentang waktu yang terbilang singkat gempa mengguncang Tasikmalaya, Yogyakarta, Aceh, Nusa Tenggara Barat, Toli-Toli, Sulawesi Tengah. Akibat gempa tidak hanya merusakan bangunan, namun banyak menelan korban jiwa.

Selama ada dinamika di lapisan bumi, maka akan tetap terjadi potensi gempa. Menurut Badan Geologi Departemen ESDM, setiap hari kita mencat ada gempa, cuma skalanya

beragam. Lempeng-lempeng yang bergerak menjadikan potensi gempa.

Daerah rawan gempa tersebut membentang di sepanjang batas lempeng tektonik Australia dengan Asia, lempeng Asia dengan Pasifik dari timur hingga barat Sumatera sampai selatan Jawa, Nusa Tenggara, serta Banda. Daerah rawan gempa tersebut membentang di sepanjang batas lempeng tektonik Australia dengan Asia, lempeng Asia dengan Pasifik dari timur hingga barat Sumatera sampai selatan Jawa, Nusa Tenggara, serta Banda.

Berhubung sampai saat ini belum ada teknologi yang dapat memprediksi baik waktu, tempat dan intensitas gempa di Indonesia, maka zona-zona yang masuk rawan gempa harus mendapat perhatian. Ada 3 (tiga) pendekatan untuk mengantisipasi terjadinya gempa agar tidak menimbulkan dampak yang besar.

Pertama, pendekatan struktural yakni mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan.

Kedua, pendekatan nonstruktural dengan membuat peta rawan bencana gempa. Informasi potensi gempa ini dimasukan dalam perencanaan wilayah.

Ketiga, intensif melakukan sosialisasi kepada masyarakat terhadap pemahaman dan pelatihan penyelamatan dampak gempa.

Fenomena gempa bumi yang banyak menimbulkan korban jiwa di Inonesia antara lain, diilustrasikan berikut ini

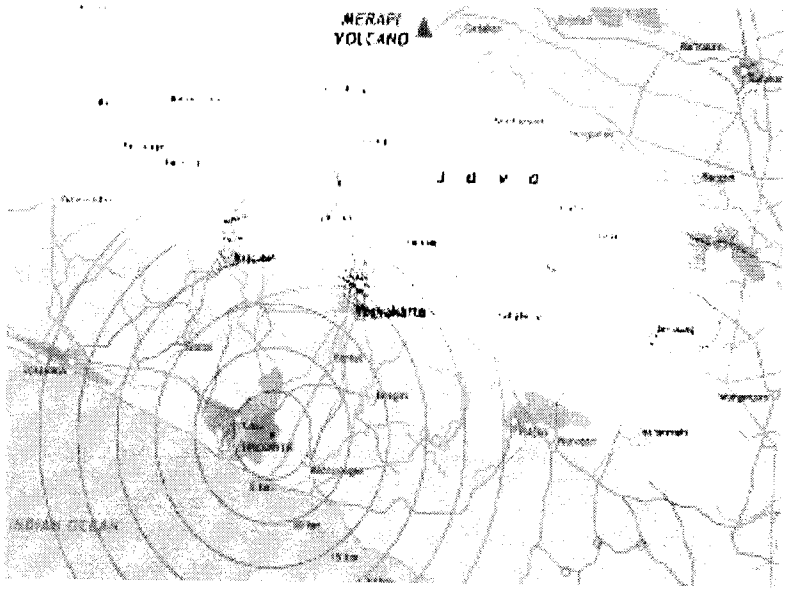
Gempa Bumi Yogyakarta Mei 2006 adalah peristiwa gempa Bumi tektonik kuat yang mengguncang Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah pada 27 Mei 2006 kurang lebih pukul 05.55 WIB selama 57 detik. Gempa Bumi tersebut berkekuatan 5,9 pada skala Richter.

Lokasi gempa menurut Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia terjadi

di koordinat 8,007° LS dan 110,286° BT pada kedalaman 17,1 km. Sedangkan menurut BMG, posisi episenter gempa terletak di koordinat 8,26° LS dan 110,31° BT pada kedalaman 33 km.itu di release sesaat terjadi gempa.

Secara umum posisi gempa berada sekitar 25 km selatan-barat daya Yogyakarta, 115 km selatan Semarang, 145 km selatan-tenggara Pekalongan dan 440 km timur-tenggara Jakarta. Walaupun hiposenter gempa berada di laut, tetapi tidak mengakibatkan tsunami. Gempa juga dapat dirasakan di Solo, Semarang, Purworejo, Kebumen dan Banyumas. Getaran juga sempat dirasakan sejumlah kota di provinsi Jawa Timur seperti Ngawi, Madiun, Kediri, Trenggalek, Magetan, Pacitan, Blitar dan Surabaya. Yang pusat Gempa dan sebarannya terliahat pada Gambar 1.7 berikut.

Gempa bumi berkekuatan 5.9 SR itu menguncang-guncang bumi Yogyakarta dan sekitarnya selama hampir 1 menit. Korban jiwa melayang, ribuan bangunan runtuh, ribuan orang jadi korban luka dan jutaan orang menjadi korban trauma.



Gambar 1.7 Gempa Yogyakarta dan Jawa Tengah 27 Mei 2006
Sumber : www. wikipedia.org

Berikut ini Daftar Gempa Bumi Besar yang terjadi di Indonesia , di atas skala Richter 5 di Indonesia, berikut dampak korban jiwa yang terjadi .

Tabel 1.1 Daftar gempa Bumi besar (di atas skala Richter 5) di Indonesia
Sumber : www. wikipedia.org

Tanggal	Skala	Episentrum	Area	Tewas	Keterangan
20 September 1899	7.8		Kota Ambon	3.280	
25 November 1833	8.8-9.2	2.5°LU 100.5°BT	Sumatera		Gempa disebabkan pecahnya segmen Palung Sumatera sepanjang 1000 km di tenggara area yang mengalami hal yang sama pada gempa 26 Desember 2004. Gempa kemudian memicu terjadinya tsunami yang menerjang pesisir barat Sumatera dengan wilayah terdekat dari pusat gempa adalah Pariaman hingga Bengkulu. Tsunami juga menyebabkan kerusakan parah di Maladewa dan Sri Langka. Selain itu, tsunami juga mencapai Australia Utara, Teluk Benggala, dan Thailand. Bencana ini tidak terdokumentasi denagan baik dan tidak diketahui pasti dampak dan korbannya.

2 Februari 1938	8.5	5.05°LU 131.62°BT	Pulau Banda dan Pulau Kai		Gempa Bumi Laut Banda 1938, dan Tsunami yang menerjang P. Banda& P. Kai
14 Agustus 1968	7.8		Sulawesi Utara	392	
26 Juni 1976	7.1		Papua	9.000	
19 Agustus 1977	8.0		Kepulauan Sunda	2.200	
12 Desember 1992	7.5		Pulau Flores	2.100	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Flores 1992
2 Juni 1994	7.2		Banyuwangi	200	
4 Mei 2000	6.5		Kepulauan Banggai	54	
4 Juni 2000	7.3		Bengkulu	>100	
12 November 2004	7.3		Alor	26	
26 Desember 2004	9.3	Samudra Hindia	Nanggroe Aceh Darussalam dan Sumatera Utara	131.028 tewas, 37.000 orang hilang	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Samudera Hindia 2004
28 Maret 2005	8.2	2.04°LU 97°BT Samudra Hindia	Pulau Nias		Informasi lanjutan: Gempa Bumi Sumatera 2005
27 Mei 2006	5.9	7.977°LS 110.318°BT Bantul, Yogyakarta	D. I. Istimewa Yogyakarta dan Klaten	6.234	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Yogyakarta 2006
17 Juli 2006	7.7	9.334°LS 107.263°BT	Ciamis dan Cilacap	>400	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Jawa 2006
11 Agustus 2006	6.0	2.374°LU 96.321°BT	Pulau Simeulue		
6 Maret 2007	6.4 M_w, 6.3 M_w	0.49°LS 100.529°BT	Solok, Kota Solok, Tanah Datar, Kota Bukittinggi	>60	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Sumatera Barat 2007
12 September 2007	7.7	4.517°LS 101.382°BT	Kepulauan Mentawai	10	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Bengkulu 2007
26 November 2007	6.7	8.294°LS 118.36 BT	Sumbawa	>3	

17 November 2008	7.7		Sulawesi Tengah	4	
4 Januari 2009	7.2		Manokwari	2	
2 September 2009	7.3	8.24°LS 107.32°BT	Tasikmalaya dan Cianjur	>87	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Jawa Barat 2009
30 September 2009	7.6 M_w	0.725°LS 99.856°BT	Padang Pariaman, Pariaman, Padang, dan Agam	1.115	Informasi lanjutan: Gempa Bumi Sumatera Barat 2009 135.299 rumah rusak berat, 65.306 rumah rusak sedang, & 78.591 rusak ringan
1 Oktober 2009	6.6 M_w	2.44°LS 101.59°BT	Kerinci	2	
9 November 2009	6.7	8.24°LS 118.65°BT	Pulau Sumbawa	1	80 orang luka & 282 rumah rusak berat.
25 Oktober 2010	7.7	3.61°LS 99.93°BT	Sumatera Barat	408	

Bab
2

Skala dan Ukuran Gempa

Bab 2 ini :

- Pusat gempa, hypocenter , epicenter
- Gelombang gempa
- Istilah-istilah dalam gempa bumi
- Klasifikasi gempa bumi
- Cara menentukan letak epicenter
- Skala kekuatan gempa
- Alat pencatat gempa

Berikut ini akan diuraikan bagaimana menentukan Pusat Gempa, serta uraian Gelombang dan Klasifikasi gempa

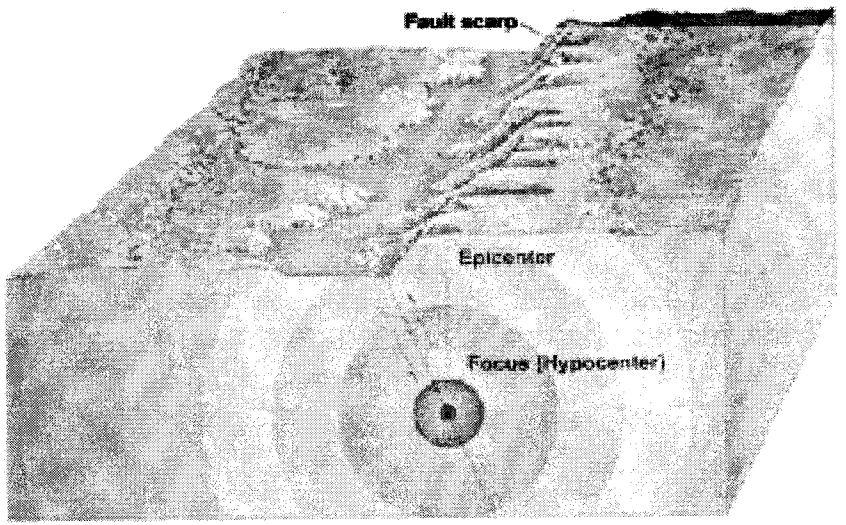
2.1 Pusat Gempa Hypocenter, Epicenter

Pergerakan pelat tektonik seperti yang diuraikan di atas, pada awalnya tertahan oleh masing-masing pelat itu sendiri, sehingga menimbulkan energi potensial yang sangat besar pada *plate boundaries*. Pada suatu saat energy tersebut akan terus meningkat, sehingga tidak tertahan lagi dan terjadilah pelepasan energy secara tiba-iba.

Pelepasan energi yang tiba-tiba dan sangat besar tersebut dapat menggetarkan daerah sekitarnya dan timbulah gempa bumi. Titik tejadinya pelepasan energy tiba-tiba dan sangat besar di atas disebut dengan Pusat Gempa atau ***Hypocenter*** (*Focus*). ***Epicenter*** adalah titik di permukaan bumi yang

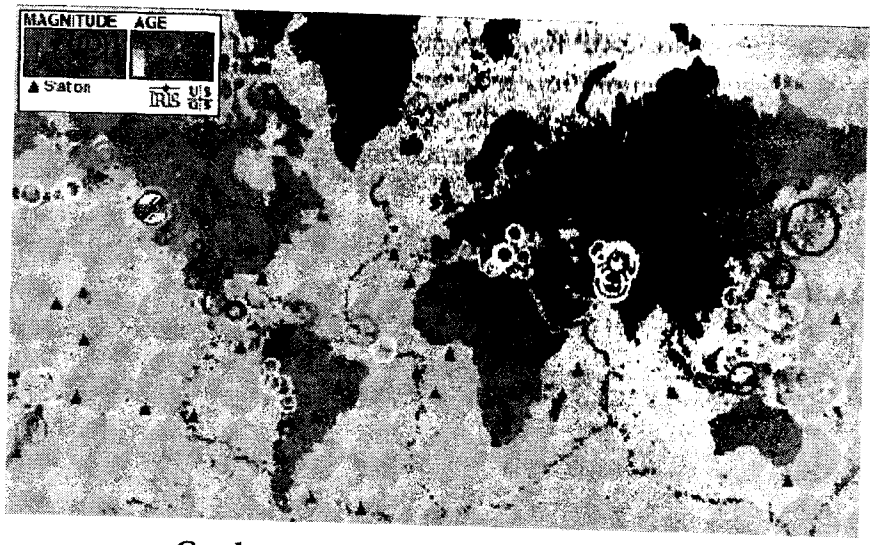
terlatak langsung di atas *hyposenter* atau *focus*. titik di mana sebuah gempa bumi atau ledakan bawah tanah berasal. Kata ini berasal dari kata benda *episentrum* Neolatin dari kata sifat dalam bahasa Yunani *(epikentros). Epi* artinya di atas, dan *kentron* artinya pusat .

Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi letak atau posisi *hypocenter* dan *epicenter.*



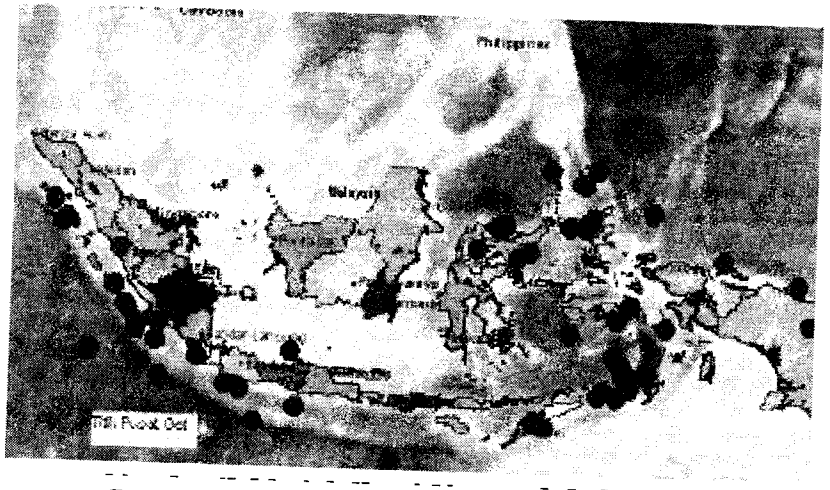
Gambar 2.1 Hypocenter dan Epicenter
Sumber : www. earthquakesandplates.wordpress

Pusat-pusat gempa di dunia selalu terletak perbatasan antara pelat tektonik sebagaimana terlihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Letak Pusat Gempa di dunia
Sumber: *www.readinessinfo.com*

Sedangkan letak pusat Gempa di Indonesia bisa dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Letak Pusat Gempa di Indonesia
Sumber: civil-engg-image.blogspot.com

2.2 Gelombang Gempa

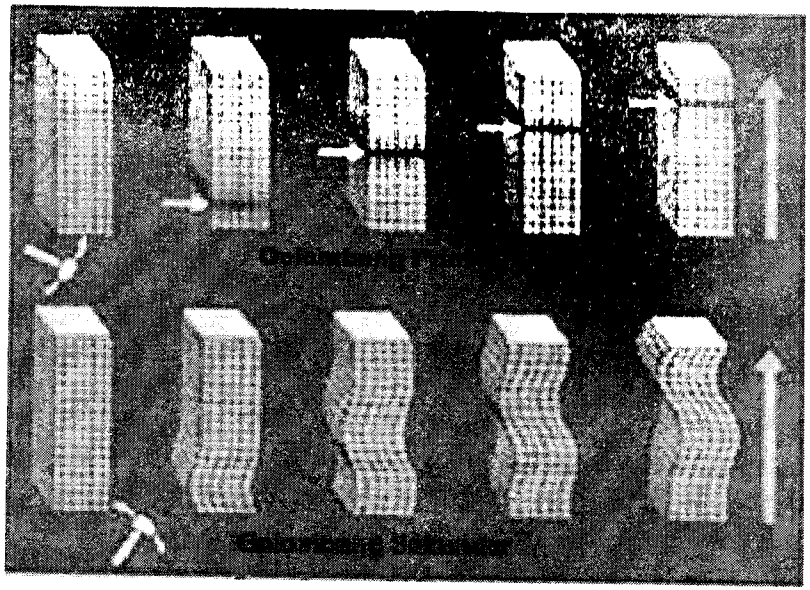
Gelombang Gempa adalah gelombang suara yang merambat melalui inti bumi atau media elastis lainnya, merupakan energi akustik frekuensi rendah. Gelombang gempa diukur dengan seismograf. Penyebaran kecepatan gelombang tergantung pada densitas dan elastisitas dari media. Kecepatan cenderung meningkatseiring dengan kedalaman, dan berkisar dari kurang lebih 2-8 km/detik di kulit bumi sampai 13 km/detik di dalam mantel. Gempa bumi menimbulkan berbagai jenis gelombang dengan kecepatan yang berbeda; ketika mencapai pencatat gempa (seismometer). Perbedaan kecepatan ini menimbulkan perbedaan waktu tempuh dan memungkinkan para ilmuwan untuk menemukan posisi pusat gempa .

Ada dua jenis gelombang gempa yaitu gelombang dalam tanah (*body wawes*) yang merambat dari pusat gempa ke permukaan tanah dan gelombang permukaan (*surface waves*) yang merambat sepanjang permukaan tanah.

Gelombang dalam tanah (*body waves*) terdiri dari 2 (dua) macam gelombang, yaitu :,

- Gelombang-P (gelombang primer) adalah gelombang yang merambat secara longitudinal atau kompresi, seperti terlihat pada Gambar 1.10 Dalam media padat (solid), gelombang ini umumnya merambat hampir dua kali lebih cepat gelombang S dan dapat berjalan melalui semua jenis material.

- Gelombang-S (gelombang sekunder) yang merambat secara transversal atau geser, yang berarti bahwa tanah tersebut dipindahkan tegak lurus terhadap arah propagasi, seperti terlihat pada Gambar 2.4. Gelombang-S hanya dapat melakukan perjalanan melalui benda padat dan cairan (liquid). Kecepatan gelombang-S adalah sekitar 60% dari gelombang-P.

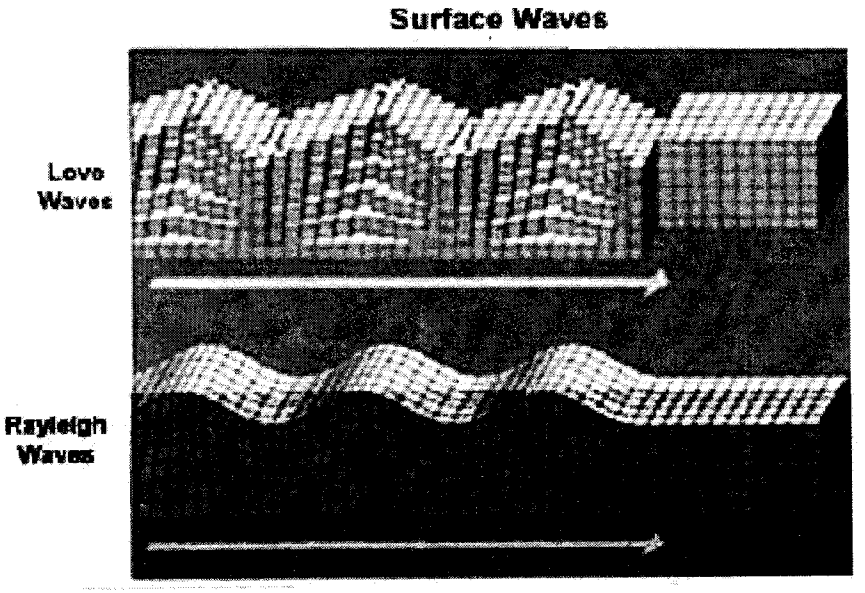


Gambar 2.4 Gelombang Primer dan Gelombang Sekunder Sumber : www.livescience.com

Gelombang permukaan (*surface waves*) analog dengan gelombang air dan perjalanan sepanjang permukaan bumi. Gelombang ini merambat lebih lambat dari *body waves*. Ada dua jenis gelombang permukaan: gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

- Gelombang Rayleigh, juga disebut *ground roll*, adalah gelombang permukaan yang berjalan sebagai riak dengan gerakan yang mirip dengan gelombang pada permukaan air, seperti terlihat pada Gambar 2.5. Keberadaan gelombang ini diperkenalkan oleh John William Strutt, Lord Rayleigh , pada tahun 1885. Gelombang ini lebih lambat dari *body waves*, sekitar 90% dari kecepatan gelombang-S untuk media elastis homogen.
- Gelombang Love adalah gelombang permukaan yang menyebabkan lingkaran geser tanah, seperti terlihat

pada Gambar 2.5. Gelombang diberi nama setelah AEH Love oleh seorang matematikawan Inggris yang menciptakan model matematika dari gelombang pada tahun 1911. Gelombang ini biasanya merambat sedikit lebih cepat daripada gelombang



Gambar 2.5 *Surface waves* : Gelombang Love dan Gelombang Rayleigh
Sumber : **www.livescience.com**

- Rayleigh, sekitar 90% dari kecepatan gelombang-S. Gelombang ini merupakan gelombang dengan kecepatan paling lambat dan memiliki amplitudo terbesar.

2.3 Istilah-istilah dalam Gempa Bumi :

Beberapa istilah yang umum dipakai dalam Gempa bumi adalah sebagai berikut :

1.	Seismologi	:	ilmu yang mempelajari gempa bumi
2.	Seismograf	:	alat pencatat gempa
3.	Seismogram	:	hasil gambaran seimograf yang berupa garis-garis patah
4.	Hypocenter	:	pusat gempa di dalam bumi
5.	Epicenter	:	tempat di permukaan bumi/permukaan laut yang tepat di atas hiposentrum. Pusat gempa di permukaan bumi
6.	Homoseista	:	garis khayal pada permukaan bumi yang mencatat gelombang gempa primer pada waktu yang sama
7.	Pleistoseista	:	garis khayal yang membatasi sekitar episentrum yang mengalami kerusakan terhebat akibat gempa
8.	Isoseista	:	garis pada peta yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai kerusakan fisik yang sama
9.	Mikroseista	:	gempa yang terjadi sangat halus/lemah dan dapat diketahui hanya dengan menggunakan alat gempa
10.	Makroseista	:	gempa yang terjadi sangat besar kekuatannya, sehingga tanpa menggunakan alat mengetahui jika terjadi gempa

2.4 Klasifikasi Gempa Bumi

Kejadian bencana alam tidak dapat dicegah dan ditentukan kapan dan dimana lokasinya, akan tetapi pencegahan jatuhnya korban akibat bencana ini dapat dilakukan bila terdapat cukup pengetahuan mengenai sifat-sifat bencana tersebut. Klasifikasi gempa, antara lain:

a. Berdasarkan penyebabnya :

- Gempa tektonik, yaitu gempa yang disebabkan oleh pergeseran lapisan batuan pada daerah patahan.
- Gempa vulkanik,yaitu gempa yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanisme.

- Gempa guguran (gempa runtuhan), yaitu disebabkan oleh runtuhnya bagian gua.
- Gempa tumbukan, yaitu gempa yang disebabkan oleh meteor besar yang jatuh ke bumi.

b. Berdasarkan bentuk epicenter :

- Gempa sentral, yaitu gempa yang epicenternya titik
- Gempa linier, yaitu gempa yang epicenternya garis.

c. Berdasarkan kedalaman hypocenter

- Gempa dalam, yaitu lebih dari 300 km
- Gempa menengah, yaitu antara 100-300 km
- Gempa dangkal, yaitu kurang dari 100 km

d. Berdasarkan jarak episcenter

- Gempa lokal, yaitu epicenternya kurang dari 10000 km.
- Gempa jauh, yaitu epicenternya sekitar 10000 km.
- Gempa sangat jauh, yaitu epicenternya lebih dari 10000 km.

Selain klasifikasi gempa di atas dikenal juga gempa laut, yaitu gempa yang episentrumnya terdapat di bawah permukan laut. Gempa ini menyebabkan terjadinya gelombang pasang yang dahsyat, disebut tsunami.

2.5 Cara Menentukan Letak Epicenter

Hasil pencatatan 3 seismograf A, B dan C dapat digunakan menentukan letak epicenter gempa. Seismograf yang digunakan yaitu seismograf vertikal, seismograf horisontal (dipasang barat timur), dan seismograf horisontal (dipasang utara selatan). Dengan mengukur perbedaan waktu pada setiap seismograf serta jarak pada grafik waktu perjalanan di mana-gelombang P dan S-gelombang memiliki pemisahan yang sama, ahli geologi dapat menghitung jarak ke pusat gempa gempa bumi. Jarak ini disebut *jarak epicentral*, Setelah jarak epicentral telah dihitung dari setidaknya tiga mengukur stasiun seismograf, ini adalah masalah sederhana untuk

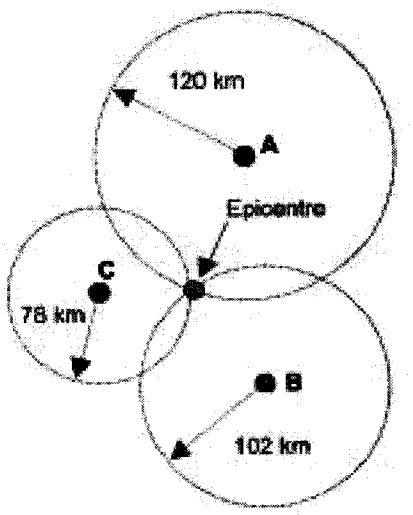
mencari tahu di mana pusat gempa terletak menggunakan metoda triangulation.

Dalam kondisi seperti itulah, peralatan seismometer mulai mencatat waktu terjadinya gempa. Gelombang waktu pertama disebut *primer time*, waktu kedua disebut *second time*, dan seterusnya. Secara sederhana, pada seismometer lama, untuk menentukan pusat gempa, para ahli umumnya menggunakan selisih waktu antara keduanya atau S-P Time (*Second Time* dikurangi *Primer Time*). Dari perhitungan itu, ditemukan angka, biasanya dalam hitungan detik. Angka waktu itu, kemudian ditransformasikan dalam jarak Δ_a, Δ_b dan Δ_c (jarak *epicentral* dari seismograf A,B dan C) dengan mengalikan dalam 5-7 Km/detik. Dari perhitungan tersebut, dengan mudah segera bisa diketahui pusat dan arah gempa.

Demikian juga untuk menentukan kedalaman pusat gempa. Karena kulit bumi terdiri atas lapisan-lapisan batuan, dari seismometer juga akan diperoleh selisih waktu yang sama. Selanjutnya, bisa ditentukan kedalamannya.

Pada seismometer modern atau sudah menggunakan sistem digital, proses penghitungan sudah otomatis dilakukan. Dengan alat yang disebut *Seismograf Digital 3 Componen* (lihat sketsa) itu, sekaligus juga bisa diketahui kedalaman dan posisi lintang dan bujur pusat gempanya. Makin banyak catatan waktu yang digunakan dari seismometer, akan makin mendekati pula hasil baca atau rekonstruksi.

Dengan membuat lingkaran dengan berpusat di masing-masing seismograf (misal A,B dan C dengan jari-jari $_a$, $_b$ dan $_c$, dan titik potong ke tiga lingkaran tersebut adalah epicenter seperti dilustrasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi Penentuan Letak Epicenter

2.6 Skala Kekuatan Gempa

Besarnya kekuatan gempa diukur dengan menggunakan 3(tiga) macam skala sebagai berikut :

1. Skala Richter

Skala Richter atau SR, skala ukuran kekuatan gempa yang diusulkan oleh fisikawan Charles Richter, didefinisikan sebagai logaritma dari amplitudo maksimum yang diukur dalam satuan mikrometer (μm) dari rekaman gempa oleh alat pengukur gempa Wood-Anderson, pada jarak 100 km dari pusat gempa.

Sebagai contoh, Misal kita mempunyai rekaman gempa bumi dari seismograf yang terpasang sejauh 100 km dari pusat gempanya. Jika amplitudo maksimumnya sebesar 1

mm, maka kekuatan gempa tersebut adalah log (10^3) µm sama dengan 3,0 skala Richter.

Skala Richter dirancang dengan logaritma, yang berarti bahwa setiap langkah menunjukkan kekuatan yang 10 kali lebih hebat dari para pendahulunya. Skala Richter 5 menunjukkan benturan keras, yang 10 kali lebih kuat dari Skala Ricter 4 dan 100 kali lebih kuat Skala Richter 3.

Perhitungan ini sering disebut sebagai Skala Richter terbuka, karena tidak beroperasi tanpa batas atas. Ukuran Skala Richter dapat dilihat pada tabel berikut:

Skala Richter	Efek Gempa
< 2.0	Gempa kecil , tidak terasa
2.0-2.9	Tidak terasa, namun terekam oleh alat
3.0-3.9	Seringkali terasa, namun jarang menimbulkan kerusakan
4.0-4.9	Dapat diketahui dari bergetarnya perabot dalam ruangan, suara gaduh bergetar. Kerusakan tidak terlalu signifikan.
5.0-5.9	Dapat menyebabkan kerusakan besar pada bangunan pada area yang kecil. Umumya kerusakan kecil pada bangunan yang didesain dengan baik
6.0-6.9	Dapat merusak area hingga jarak sekitar 160 km
7.0-7.9	Dapat menyebabkan kerusakan serius dalam area lebih luas
8.0-8.9	Dapat menyebabkan kerusakan serius hingga dalam area ratusan mil
9.0-9.9	Menghancurkan area ribuan mil
> 10.0	Belum pernah terekam

Tabel 2.1. Deskripsi Ukuran Skala Richter

Skala Richter ini tidak selalu dapat menggambarkan tingkat kerusakan atau bahaya yang terjadi akibat gempa, karena meskipun skalanya besar, namun kalau lokasi

pusat gempanya dalam dan jauh, maka tidak akan terasa di permukaan tanah. Skala Richter ini hanya cocok dipakai untuk gempa-gempa dekat dengan magnitudo gempa di bawah 6,0. Di atas magnitudo itu, perhitungan dengan teknik Richter ini menjadi tidak representatif lagi.

2. Skala Modified Mercalli Intensity (MMI)

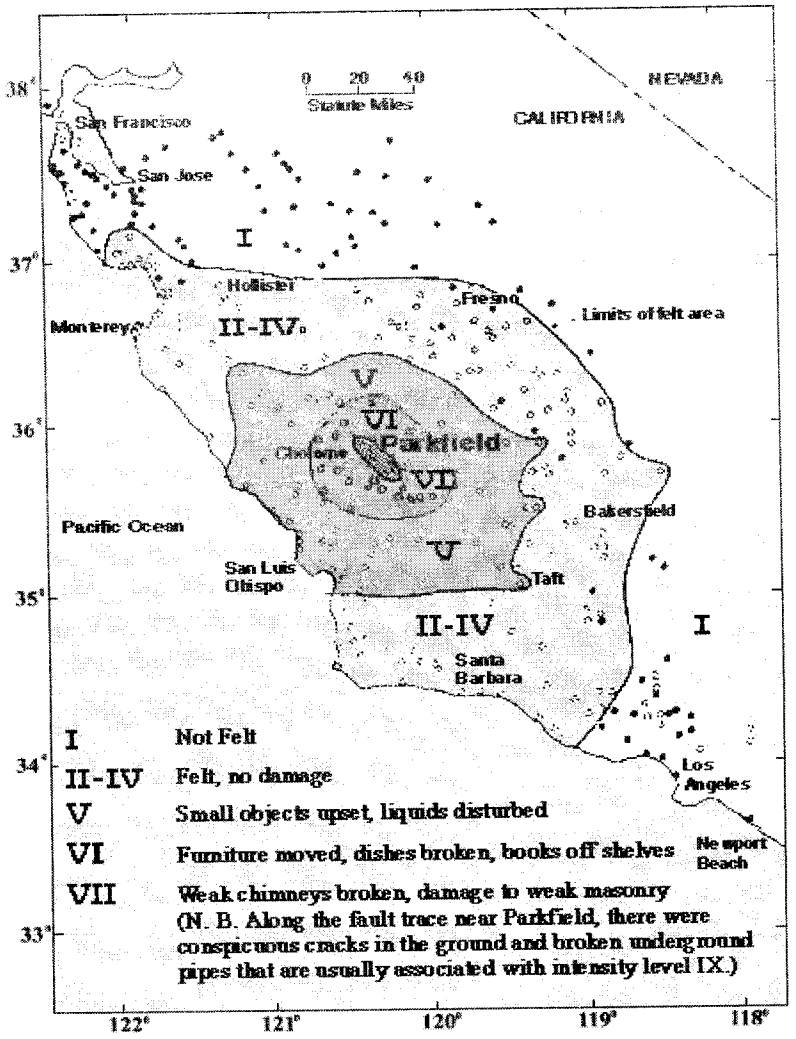
Pada 1902, seorang Vulkanolog Italia bernama Giuseppe Mercalli (1850-1914) mengklasifikasi skala intensitas gempa bumi dan pengaruhnya terhadap manusia, bangunan, dan tanah. Klasifikasi tersebut bernama Skala Mercalli yang ditentukan berdasarkan kerusakan akibat gempa dan wawancara kepada para korban, sehingga bersifat sangat subyektif. Oleh karena itu, pada tahun 1931 seorang ilmuwan dari Amerika memodifikasi Skala Mercalli (*Modified Mercalli Intensity*)ini dan sampai sekarang digunakan di banyak wilayah gempa. Klasifikasi intensitas gempa dengan Skala Mercalli dapat dilihat di Tabel 2.2

Tabel 2.2 Deskripsi Skala MMI

Ukuran	Keterangan
I	Direkam hanya oleh seismograf.
II	Getaran hanya dirasakan oleh masyarakat di sekitar pusat gempa.
III	Getaran dirasakan oleh beberapa orang.
IV	Getaran akan dirasakan oleh banyak orang. Porselin dan barang pecah belah berkerincing dan pintu berderak.
V	Binatang merasa kesulitan dan ketakutan. Bangunan mulai bergoyang. Banyak orang akan bangun dari tidurnya.
VI	Benda-benda mulai berjatuhan dari rak.

VII	Banyak orang cemas, keretakan pada dinding dan jalan.
VIII	Pergeseran barang-barang dirumah.
IX	Kepanikan meluas, tanah longsor, banyak atap dan dinding yang roboh.
X	Banyak bangunan rusak, lebar keretakan di dalam tanah mencapai hingga 1 meter.
XI	Keretakan dalam tanah makin melebar, banyak tanah longsor dan batu yang *jatuh*.
XII	Hampir sebagian besar bangunan hancur, permukaan tanah perubahan menjadi radikal.

Skala MMI ini mempunyai nilai besar pada daerah pusat gempa, dan mengecil pada jarak semakin jauh dari pusat gempa seperti terlihat pada Gambar 2.7. Skala ini menggambarkan tingkat kerusakan struktur yang diakibatkan gempa.



Gambar 2.7 Ilustrasi Skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*)
Sumber gambar :www.earthquake.usgs.gov

3. Skala Peak Ground Acceleration (PGA)

Skala Percepatan Puncak Tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggambarkan percepatan tanah maksimum yang terjadi pada saat gempa. Skala ini biasanya diekspresikan dalam g (percepatan gravitasi bumi). Percepatan gelombang gempa yang sampai di permukaan bumi disebut juga percepatan tanah, merupakan gangguan yang perlu dikaji untuk setiap gempa bumi, kemudian dipilih percepatan puncak tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk dipetakan agar bisa memberikan pengertian tentang efek paling parah yang pernah dialami suatu lokasi.

Faktor yang merupakan sumber kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah. Sehingga data PGA akibat getaran gempabumi pada suatu lokasi menjadi penting untuk menggambarkan tingkat resiko gempabumi di suatu lokasi tertentu. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, semakin besar resiko gempabumi yang mungkin terjadi.

Di Indonesia, pengaruh Gempa Rencana di muka tanah harus ditentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah dengan menggunakan gerakan gempa masukan dengan percepatan puncak untuk batuan dasar menurut Tabel 2.3. Akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisis ini, harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi dan seismotektoniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk mengurangi ketidak-pastian mengenai kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram dari 4 gempa yang berbeda, salah satunya harus diambil Gempa El Centro N-S yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 di California.

Batuan dasar adalah lapisan batuan di bawah muka tanah yang memiliki nilai hasil Test Penetrasi Standar N paling

rendah 60 dan tidak ada lapisan batuan lain di bawahnya yang memiliki nilai hasil Test Penetrasi Standar yang kurang dari itu, atau yang memiliki kecepatan rambat gelombang geser yang mencapai 750 m/detik dan tidak ada lapisan batuan lain di bawahnya yang memiliki nilai kecepatan rambat gelombang primer (geser) yang kurang dari itu.

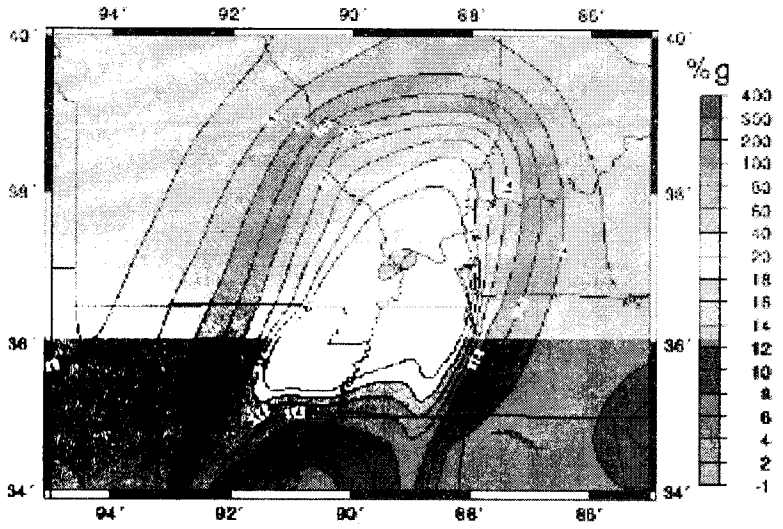
Jenis tanah ditetapkan sebagai Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak, apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis-jenis tanah
Sumber Tabel: SNI-03-1726-2002

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, $\bar{v}_s$ (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata $\bar{N}$	Kuat geser niralir rata-rata $\bar{S}_u$ (kPa)
Tanah Keras	$\bar{v}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan PI > 20, $w_n \geq 40\ \%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Gempa besar bisa terjadi berulang-ulang di suatu tempat. Kita kenal sebagai perioda ulang gempa bumi. Hal ini didukung oleh teori *elastic rebound* yang mempunyai fasa pengumpulan energi dalam jangka waktu tertentu dan kemudian masa pelepasan energi pada saat gempa besar.

Perioda ulang gempa besar bisa 10 tahun, 50 tahun, 100 tahun atau 500 tahun. Sehingga tingkat resiko bangunan terhadap gempa bumi bisa terkait dengan periode ulang gempabumi. Kita ambil contoh jika bangunan dirancang untuk berumur pakai 50 tahun dan perioda ulang gempa ditempat tersebut 100 tahun, maka percepatan maksimum di tempat tersebut tentu akan kecil. Skala PGA ini mempunyai nilai besar pada daerah pusat gempa, dan mengecil pada jarak semakin jauh dari pusat gempa seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Ilustrasi Skala PGA (*Peak Ground Acceleration*)
Sumber Gambar : www.eas.slu.edu

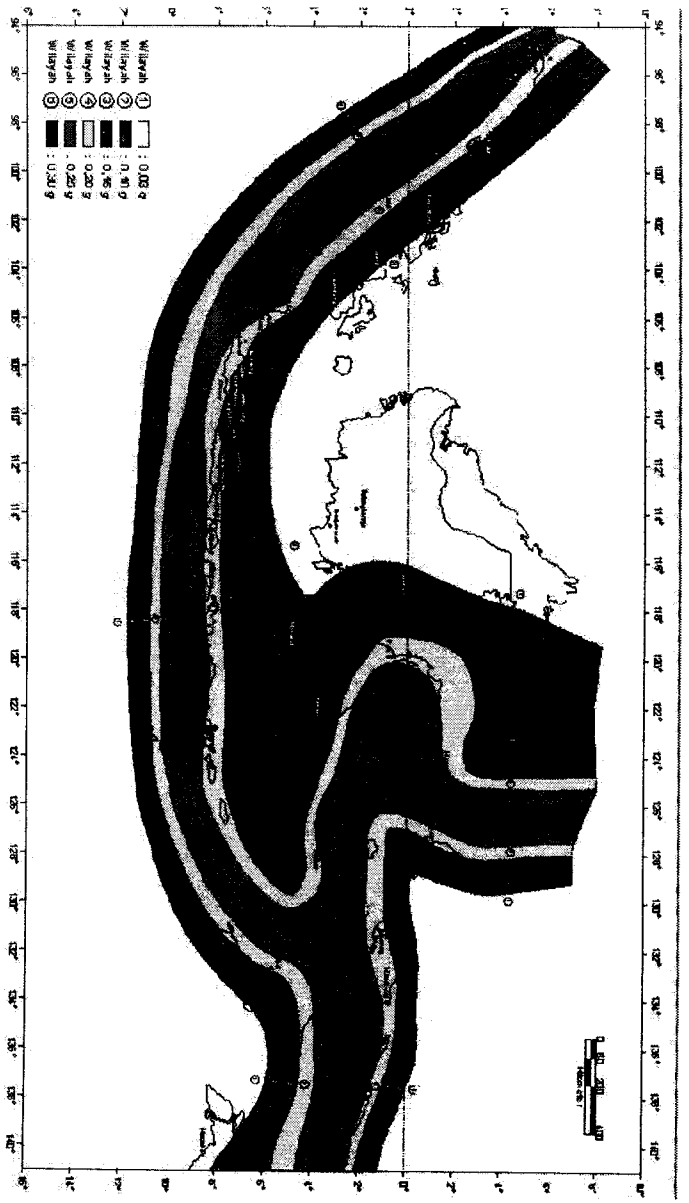
Skala ini menggambarkan tingkat kerusakan struktur yang diakibatkan gempa. Kementerian Pekerjaan Umum, pada Tahun 2010 telah menerbitkan Peta Zonasi Gempa Indonesia perioda ulang 50 tahun dengan redaman 5% untuk berbagi respons spectra seperti terlihat pada Gambar 2.9 sd 2.11.

Sedangkan SNI-03-1726-2002 menetapkan Indonesia terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.16, di mana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan Wilayah Gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas PGA percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan dalam Gambar 2.11.

Apabila percepatan puncak permukaan tanah tidak didapat dari hasil analisis perambatan gelombang, maka percepatan maksimum permukaan tanah tersebut untuk masing-masing Wilayah Gempa dan untuk masing-masing jenis tanah ditetapkan dalam Tabel 2.4.

Gambar 2.9 Peta Gempa Terlampaui dalam 50 Tahun Redaman 5% di Batuan Dasar, Probabilitas Terlampaui 2%- Percepatan Puncak Gempa

Gambar 2.10 Peta Gempa Terlampaui dalam 50 Tahun, Redaman 5% di Batuan Dasar, Probabilitas Terlampaui 10%- Percepatan Puncak Gempa



Gambar 2.11 Peta Wilayah Gempa berdasar percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun

Tabel 2.4 Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan maksimum permukaan tanah (PGA), A_o ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Perhitungan Percepatan Puncak Tanah (PGA) menggunakan beberapa formula empiris PGA antara lain metode Donavan, Esteva, Murphy-O'Brein, Gutenberg-Richter, Kanai, Kawasumi dan lain-lain. Formula-formula empiris tersebut ditentukan berdasarkan suatu kasus gempabumi pada suatu tempat tertentu, dengan memperhitungkan karakteristik sumber gempabuminya, kondisi geologi dan geotekniknya.. Formula Murphy-O'Brein memberikan hasil yang mirip dengan formula Gutenberg-Richter yang dikombinasikan dengan fungsi attenuasi gempabumi yang ditentukan berdasarkan gempa Flores, 12 Desember 1991.

- Formula Murphy - O'Brein :

$$\mathbf{PGA = 10^{(0{,}14\,I + 0{,}24\,M)} - 0{,}68(\log d + 0{,}7)}$$

dimana :

PGA = Peak Ground Acceleration
I = Intensitas standard MMI
M = Magnitude gempabumi

d = jarak antara lokasi dengan sumber gempabumi

- Formula Gutenberg-Richter :

log a = I/3 –0.5 dan I_0 = 1,5 (M-0,5)

dimana :

a = percepatan (gal),
I = Intensitas (MMI) dan
I_0 = Intensitas pada hypocenter.
sedangkan, $I = I_0 .e^{(-0,0021 X)}$,

Dan,

I = intensitas pada jarak X km dari I_0

4. Skala kekuatan Moment

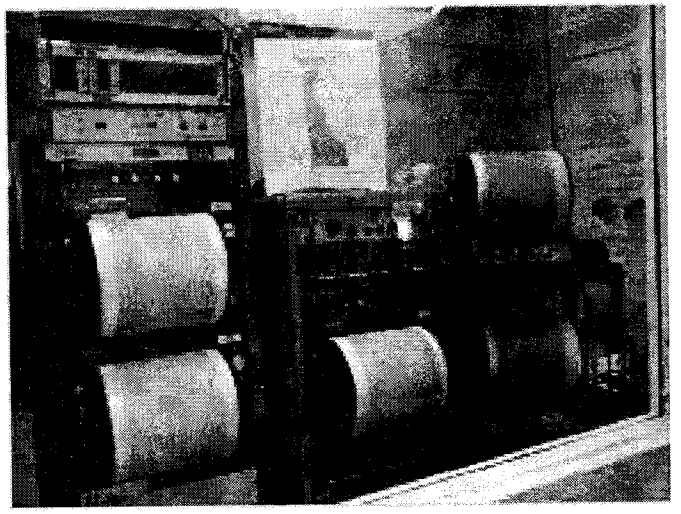
Skala kekuatan moment diperkenalkan pada 1979 oleh Tom Hanks dan Hiroo Kanamori sebagai pengganti skala Richter dan digunakan oleh seismologis untuk membandingkan energi yang dilepas oleh sebuah gempa bumi. Kekuatan moment Mw adalah sebuah angka tanpa dimensi yang didenifinisikan sebagai berikut

$$M_w = \frac{2}{3}\left(\log_{10}\frac{M_0}{\mathrm{N \cdot m}} - 9.1\right) = \frac{2}{3}\left(\log_{10}\frac{M_0}{\mathrm{dyn \cdot cm}} - 16.1\right)$$

di mana M_0 adalah Moment seismic (menggunakan satu newton metre [N·m] sebagai moment). Sebuah peningkatan satu tahap dalam skala logaritmik ini berarti sebuah peningkatan 101,5 = 31,6 kali dari jumlah energi yang dilepas, dan sebuah peningkatan 2 tahap berarti sebuah peningkatan 103 = 1000 kali kekuatan awal.

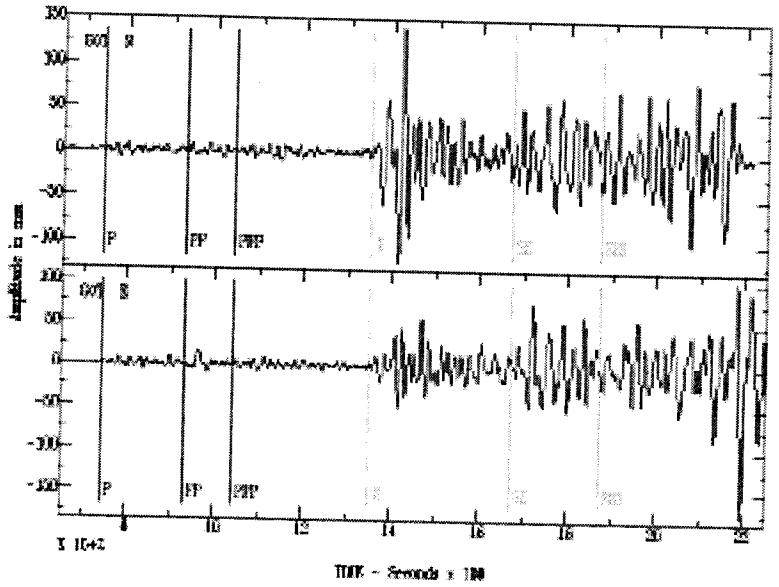
2.7 Alat Pencatat Gempa

Seismograf merupakan instrumen yang mengukur gerakan tanah, termasuk gelombang seismik yang dihasilkan oleh gempa bumi , ledakan nuklir , dan lain sumber gempa seperti terlihatpada Gambar 2.12. Rekaman gelombang seismik memungkinkan seismologis untuk memetakan bagian dalam Bumi, dan menemukan dan mengukur ukuran sumber-sumber yang berbeda. Kata berasal dari bahasa Yunani, seismós, sebuah gemetar atau gempa, dari kata kerja, seíō, mengguncang, dan, métron, mengukur. Seismograf terus menerus memberikan catatan pergerakan tanah; ini membedakan mereka dari seismoscopes, yang hanya menunjukkan bahwa gerakan telah terjadi.



Gambar 2.12 Alat Pencatat Gemp a atau Seismograph
Sumber gambar : www.lhup.edu

Seismograf yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur getaran di dalam bumi, dan catatan yang mereka hasilkan disebut *seismogram* seperti terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Seismogram
Sumber gambar : http://talk.onevietnam.or

Bab

3

Kerusakan Struktur Bangunan Akibat Gempa

Bab 3 ini :

- Kerusakaan Permukaan tanah (*Surface Faulting*)
- Kerusakan Akibat Getaran di Permukaan Tanah
- Kerusakan Akibat Kelongsoran Lereng Tanah
- Kerusakan Akibat Bencana Tsunami

Indonesia merupakan daerah kepulauan yang diapit lempeng Eropa Asia - Australia di Selatan serta lempeng Pasifik dan Philipine dibagian Timur-Utara. Pergeseran diantara lempeng tersebut dapat mengakibatkan proses gempa terjadi disuatu titik kedalaman dan menjalar sepanjang patahan/sesar. Jika bidang patahan terjadi didasar laut kestabilan air laut terganggu secara vertikal maupun horizontal. Bahkan jika gempa yang terjadi magnitudenya besar (9 skala Richter) seperti Aceh terjadi sesar sepanjang ribuan kilometer sehingga menyebabkan terjadinya Tsunami (Desember 2004) yang menelan korban jiwa hampir 300.000 orang serta kerusakan infrastruktur yang amat besar. Pada bulan Mei tahun 2006 kembali terjadi gempa tektonik di Selatan Yogyakarta juga akibat pergeseran lempeng Asia-Australia yang juga mengakibatkan korban jiwa mendekati angka 5000 jiwa dan kerusakan infra struktur yang besar. Di Pangandaran terjadi Tsunami dengan gelombang setinggi

5 meter menyapu daerah Pantai Pangandaran dan lagi-lagi terjadi korban jiwa sekitar 400 orang dan kerusakan infra struktur.

Kerusakan struktur bangunan bisa dikelompokkan berdasar penyebabnya yaitu :

1. Kerusakan struktur bangunan akibat langsung dari gempa

Kerusakan struktur akibat langsung dari gempa disebabkan oleh kerusakan permukaan tanah dan efek getaran yang ditransmisikan dari tanah ke struktur. Penyebab kerusakan struktur akibat langsung dari gempa harus diperhatikan dan diantisipasi.

2. Kerusakan struktur banguan akibat tidak langsung dari gempa.

Sedangkan kerusakan struktur akibat tidak langsung dari gempa disebabkan oleh, kelongsoran lereng, banjir akibat bendungan pecah, kebakaran dan tsunami dll.

3.1 Kerusakan Permukaan Tanah (Surface Faulting)

Akibat kerusakan permukakaan tanah yang disebabkan gempa baik yang berupa tanah ambles, terbelah dan terbuka maupun karena liquifaksi, akan menimbulkan kerusakan struktur bangunan di atasnya permukaan tanah tersebut yang sulit untuk diantisipasi.

1. Tanah terbelah, ambles dan terbuka

Kerusakan permukaan tanah (*surface faulting*) adalah kerusakan yang terjadi pada permukaan tanah pada saat gempa berlangsung. Kerusakan ini sulit diantisipasi karena

yang rusak adalah struktur tanahnya yang mengakibatkan struktur bangunan diatasnya terimbas mengalami kerusakan juga.

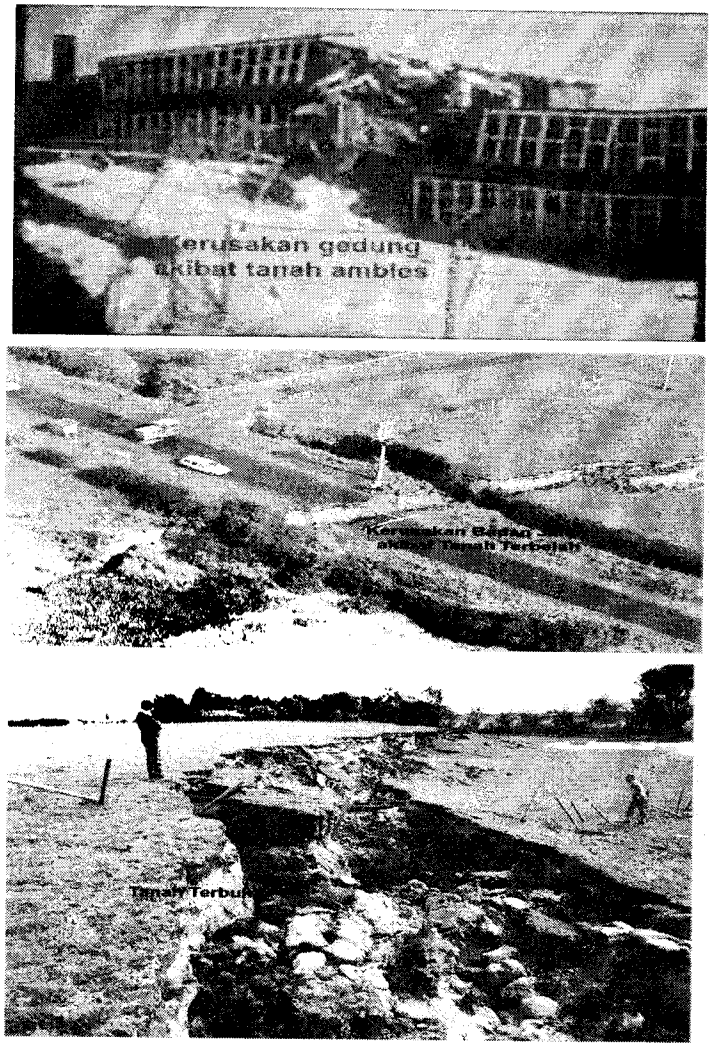
Kerusakan tanah tersebut seperti tanah ambles, terbelah dan terbuka menyebabkan kerusakan struktur yang ada di atasnya seperti jalan, saluran irigasi, gedung dll sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1.

2. Liquifaksi

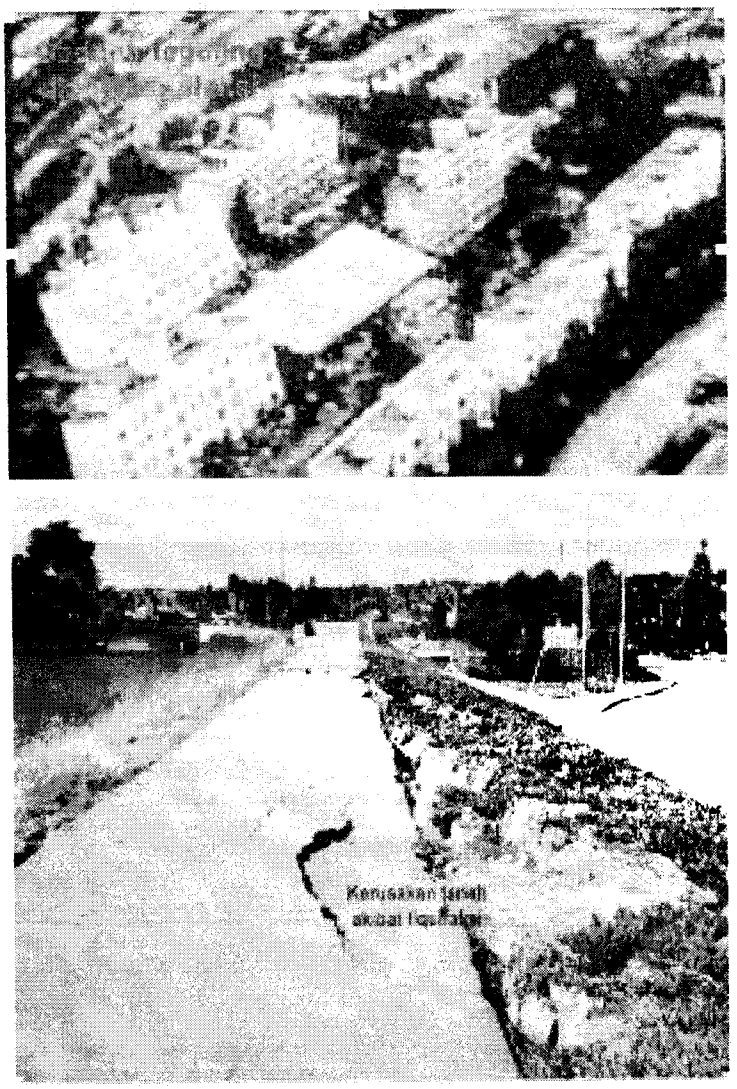
Jika muka air tanah tinggi dan butir tanahnya lepas, maka pada saat terjadi gempa yang intensitasnya tinggi dan lama getaran gempa cukup panjang akan terjadi tekanan air pori hidrostatis yang berlebihan yang disebut likuifaksi (*liquefaction*). Perambatan getaran gempa itulah yang menyebabkan beban siklik pada tanah dan mengakibatkan peristiwa *liquefaction* di permukaan bumi. Beban siklik yang cukup lama pada tanah dapat mengurangi void ratio pada batas tertentu walaupun dengan kecepatan yang semakin menurun.

Selama pembebanan gravitasi ditransfer dari butiran tanah ke air pori akan menyebabkan peningkatan tekanan air pori dengan pengurangan kapasitas kemampuan tanah memikul beban. Gempa bumi, ledakan, dan pile driving adalah contoh dari pembebanan dinamik yang dapat memicu terjadinya *flow liquefaction*. Sekali telah memicu terjadinya *flow liquefaction*, maka kekuatan dari tanah yang mudah mengalami *flow liquefaction* tidak lagi cukup untuk dapat menerima pembebanan statis yang ada sebelum tanah mengalami kerusakan.

Likuifaksi dapat menyebabkan penurunan yang berbeda pada permukaan tanah yang menjadikan struktur bangunan diatasnya ambles, miring bahkan terguling seperti terlihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.1 Kerusakan Akibat Kerusakan Permukaan Tanah
Sumber gambar : www nisee.berkeley.edu



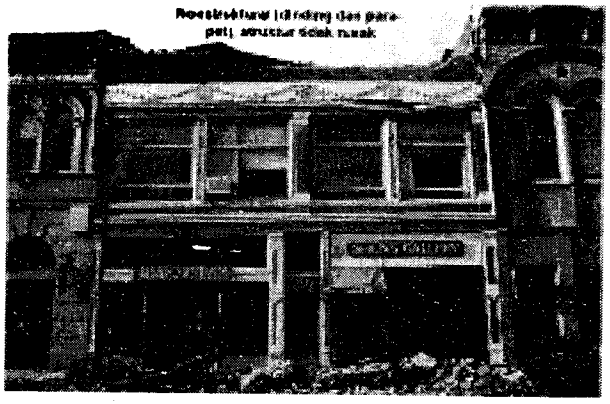
Gambar 3.2 Kerusakan Gedung dan Jalan akibat Liquifaksi
Sumber Gambar : www. nisee.berkeley.edu

3.2 Kerusakan Akibat Getaran di Permukaan Tanah

Pada saat terjadi gempa permukaan tanah bawah struktur bangunan akan bergetar. Getaran tersebut akan ditransmisikan ke struktur bangunan di atasnya sehingga memungkinkan terjadinya kerusakan struktur. Kerusakan ini dapat diminimalisir dengan sistem struktur tahan gempa guna menghindari terjadinya *total failure* dan korban jiwa manusia. Berdasar tingkat kerusakan struktur bangunan akibat getaran gempa dibedakan atas 3 (tiga) jenis kerusakan yaitu : kerusakan non struktural, kerusakan struktur sebagian (*partially collapse*) dan kerusakan struktur total (*totally collapse*) .

1. Kerusakan non struktural

Kerusakan yang terjadi elemen non struktur dari bangunan seperti dinding/tembok, partisi, pintu, jendela, *furniture* dll akibat getaran gempa, seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kerusakan Nonstruktural
Sumber gambar : www. nisee.berkeley.edu

2. Kerusakan struktur sebagian (*partially collapse*)

Kerusakan yang terjadi pada sebagian elemen struktur dari bangunan seperti kolom, balok, pelat, furniture dll akibat getaran gempa, dan struktur tidak mengalami keruntuhan total atau masih berdiri seperti terlihat pada Gambar 3.4.

Gambar 3.4 Kerusakan struktur sebagian
Sumber gambar : www. nisee.berkeley.edu

3. Kerusakan Struktur Total (*Totally Collapse*)

Kerusakan yang terjadi elemen struktur dari bangunan yang mengakibatkan bangunan mengalami keruntuhan total akibat getaran gempa, seperti terlihat di Gambar 3.5.

Gambar 3.5 Kerusakan Struktur Total
Sumber gambar : www. nisee.berkeley.edu

3.3 Kerusakan Akibat Kelongsoran Lereng Tanah

Guncangan gempa bumi ternyata tidak hanya merusak bangunan rumah. Gempa bumi juga membawa dampak bagi kondisi lingkungan, seperti terpicunya longsoran dan terjadi perubahan struktur tanah pada daerah-daerah berlereng curam yang berada dalam kondisi kritis akibat guncangan gempa.

Akibatpengaruhgempa,teganganporiudaradalamlapisan tanah pasir (lensa lensa pasir) meningkat, mengakibatkan tegangan efektif tanah menurun dan bahkan mencapai nilai terendah (= 0). Hal ini berarti tanah kehilangan kekuatan dukungnya dan berakibat pada runtuhnya lapisan diatas pembentuk lereng sehingga memicu terjadi tanah longsor.

Selain itu, apabila lapisan tanah lempung terletak di atas lapisan batuan keras (*bed rock*), akibat pengaruh gempa pada ke dua massa tersebut (tanah dan batuan) mempunyai percepatan yang berbeda, sehingga bidang kontak ke dua lapisan ini menjadi bagian yang lemah, terjadi rekahan yang juga sewaktu-waktu dapat memicu terjadinya longsoran.

Adapula yang masih berupa rekahan sekunder, yang sewaktu-waktu bisa saja berubah menjadi longsoran dan jatuhan dan potensial mengancam pemukiman penduduk yang ada dibawahnya. Sejalan dengan hal ini, para ahli Geologi menunjukan bahwa memang longsoran (*Rock Slide*) serta jatuhan (*Rock Fall*) banyak sekali terjadi pada lereng-lereng yg kritis disekitar pusat gempa. Dengan demikian kita tahu bahwa longsoran-longsoran itu memang benar dipicu oleh gempa.

Ancaman longsor menjadi makin besar ketika di lereng yang rapuh itu bertengger bangunan, apalagi ketika diguncang gempa. Selain longsor, amblesnya permukaan juga dapat terjadi di daerah yang diterjang gempa. Teorinya, akibat gempa, sumber air di bawah tanah akan teraduk hingga terjadi likuifaksi atau pelembekan tanah. Tanah yang mengalami pembebanan tinggi dan berongga pun akan mudah ambles.

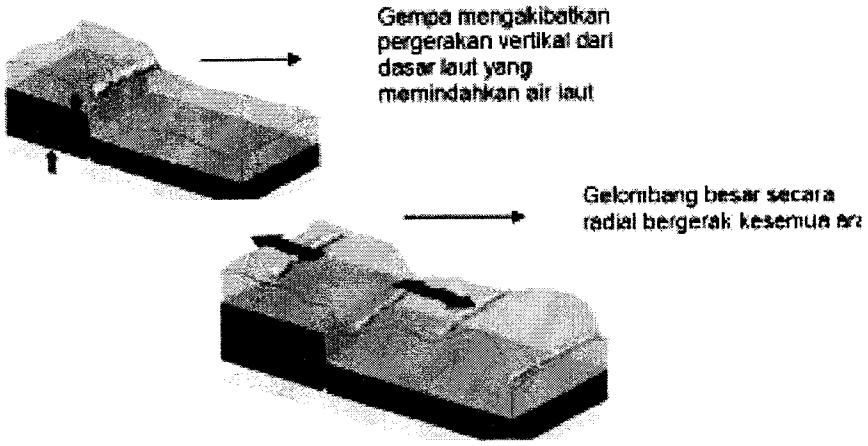
Gambar 3.6 meng ilustrasikan kondisi tanah longsor di Tandikat Padang akibat gempa 30 September 2009. Longsoran tersebut menimbun pemukiman penduduk dan menutup aliran sungai di bawah lereng tanah tempat terjadinya longsoran tersebut.

Gambar 3.6 Tanah longsor akibat getaran Gempa
(Lokasi : Kecamatan Tandikat Padang)

3.4 Kerusakan Akibat Bencana Tsunami

Pengertian Tsunami berasal dari bahasa Jepang yang artinya Tsu berati pelabuhan dan nami berarti gelombang. Kata ini secara mendunia sudah diterima dan secara harfiah yang berarti gelombang tinggi/besar yang menghantam pantai/pesisir. Tsunami sendiri terjadi akibat gempa tektonik yang besar dilaut (lebih besar dari 7.5 skala Richter dan kedalaman episentrum lebih kecil dari 70 km) yang mengakibatkan terjadinya patahan/rekahan vertikal memanjang (kasus Aceh patahan mencapai ribuan kilometer) sehingga air laut terhisap masuk dalam patahan dan kemudian secara hukum fisika air laut tadi terlempar kembali setelah patahan tadi mencapai keseimbangan. Kecepatan air/gelombang yang sangat cepat terjadi. Pada kasus Tsunami di Aceh kecepatannya dapat mencapai

vertikal memanjang (kasus Aceh patahan mencapai ribuan kilometer) sehingga air laut terhisap masuk dalam patahan dan kemudian secara hukum fisika air laut tadi terlempar kembali setelah patahan tadi mencapai keseimbangan. Kecepatan air/gelombang yang sangat cepat terjadi. Pada kasus Tsunami di Aceh kecepatannya dapat mencapai ratusan kilometer per jam nya. Antara terjadinya gempa dan Tsunami ada jeda waktu yang dapat digunakan untuk memberikan peringatan dini pada masyarakat. Pengalaman di Aceh menunjukkan peringatan dini belum berjalan. Secara diagramatis terlihat pada Gambar 3.7 proses terjadinya Tsunami .



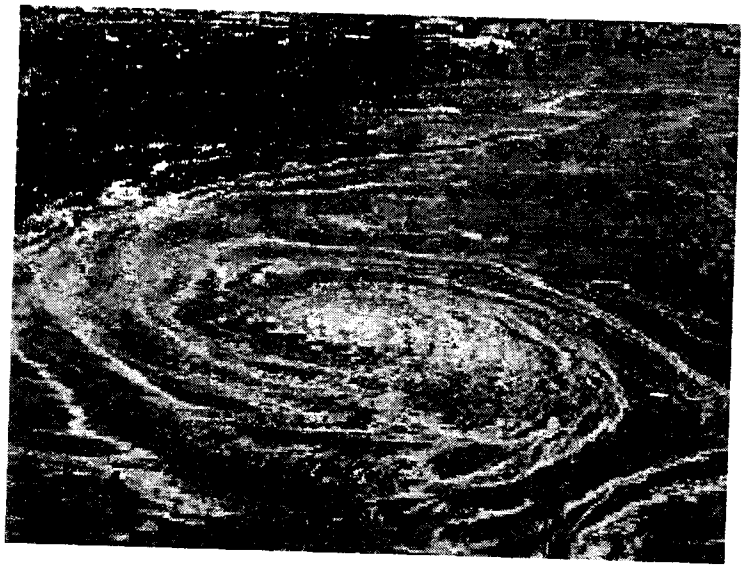
Gambar 3.7 Proses terjadinya tsunami
Sumber Gambar : www.news.bbc.co.uk

3.4.1 Penyebab Tsunami

Tsunami disebabkan oleh gerakan tiba-tiba bumi yang terjadi di bawah laut. Gelombang Tsunami sebagian besar disebabkan oleh **gempa bumi,** tetapi penyebab juga dapat

mencakup letusan gunung berapi, tanah longsor atau bahkan komet memukul laut.

Kulit bumi terdiri dari sekitar selusin lempeng tektonik yang mengambang dan terus bergerak bersama-sama dan saling berbatasan berbentuk gigi gergaji. Gempa bumi terjadi jika salah satu lempeng bergesekan dengan lempeng lain pada sisi pembatasnya. Apabila dua lempeng berat dan ringan terjebak dalam pergesekan tersebut maka lempeng yang lebih berat mencoba meluncur atau menelusup dibawah lempeng yang ringan. Hal ini disebut **subduksi** yang menyebabkan terangkat serta tertekuknya lempeng ringan tersebut. Hal ini menyebabkan tekanan dengan kekuatan luar biasa keatas dan menimbulkan kenaikan permukaan air laut yang sangat besar dan terjadi gunung besar air laut yang menimbulkan gelombang pasang tsunami. Seperti terlihat pada Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 Pusaran Gelombang Tsunami saat terjadi Gempa di Jepang Tahun 2011
Sumber gambar : http://reviews.in.88db.coma

Tsunami bisa mencapai kecepatan melebihi 600 mph dan bahkan di perairan dangkal mencapai ketinggian lebih dari 100 kaki Tsunami telah sebenarnya telah dilaporkan sejak zaman kuno, dengan tsunami yang tercatat pertama yang terjadi di lepas pantai Syria pada tahun 2000 SM .

3.4.2 Sistem Peringatan Dini Tsunami (Indonesian Tsunami Early Warning System/ITWS)

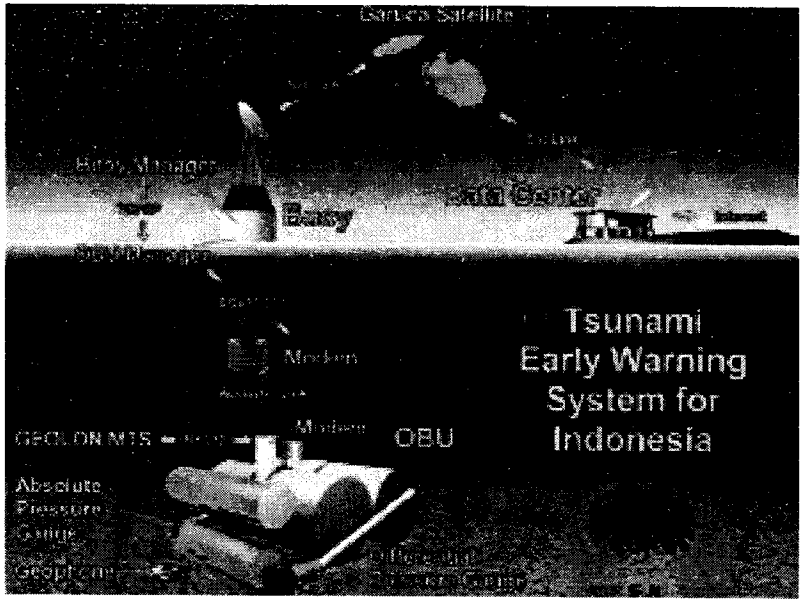
Sistem peringatan dini ITWS (seperti terlihat pada Gambar 3.9) adalah sistem yang menginformasikan kemungkinan terjadinya bahaya sebelum bahaya tersebut terjadi. Termasuk sistem biologis yang dimiliki oleh makhluk hidup maupun sistem hasil buatan manusia.

Yang termasuk sistem biologis adalah rasa sakit dan rasa takut (yang umumnya menjadi bagian dari insting) yang dimiliki makhluk hidup secara alamiah.

Sementara yang termasuk sistem buatan adalah sistem yang dirancang manusia untuk mengumpulkan data-data terkait dan mengolahnya menjadi parameter kemungkinan terjadinya bahaya. Sistem buatan manusia ada yang dibuat untuk tujuan sipil dan ada juga yang khusus untuk tujuan militer.

Dalam hal ini sistem peringatan dini untuk tsunami termasuk untuk tujuan sipil. Begitu pula dengan alat pendeteksi asap, alat pendeteksi gempa, dan lain sebagainya.

Sementara alat peringatan dini untuk militer antara lain adalah alat pendeteksi misil balistik, pendeteksi serangan nuklir, alat peringatan antirudal pesawat tempur, dan lain sebagainya.



Gambar 3.9 Indonesian Tsunami Warning System (ITWS)
(Sumber gambar : www.swaberita.com)

Indonesia Tsunami Warning System (ITWS) dibangun untuk mendeteksi gejala-gejala alam yang berpotensi untuk mendatangkan bencana tsunami sekaligus mencari lokasi pusat gempa yang menyebabkan tsunami tersebut.

Laporan yang diberikan oleh TWS ini bisa digunakan untuk memprediksi besar kerusakan yang akan ditimbulkan dan daerah-daerah yang akan terkena dampak tsunami. Sistem ini terbagi menjadi dua komponen penting, yaitu jaringan sensor-sensor pendeteksi tsunami dan infrastruktur komunikasi yang berguna untuk menyampaikan peringatan dini.

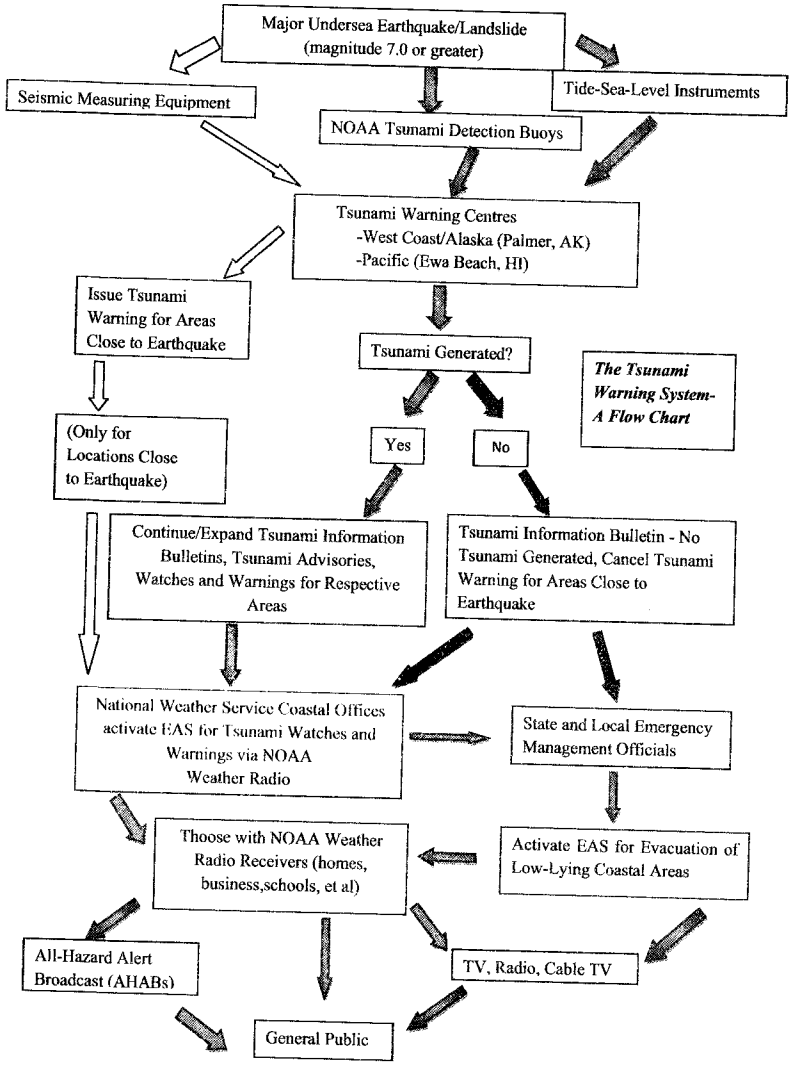
Peringatan dini tsunami menghendaki kewaspadaan dan evakuasi sebelum tsunami datang. Laju informasi peringatan dini sangatlah penting mengingat selang waktu

antara gempa bumi sampai tsunami mencapai daratan cukup singkat.

Terdapat dua jenis peringatan dini tsunami: peringatan dini internasional dan peringatan dini regional. Keduanya bergantung pada kenyataan bahwa tsunami bergerak dengan laju 500 – 1000 km/jam (sekitar 0,14-0,28 km/detik) di laut lepas, sementara gempa bumi dapat terdeteksi dengan cepat melalui gelombang seismik yang bergerak dengan laju rata-rata 14.400 km/jam atau sekitar 4 km/detik.

Dengan memperhatikan gelombang seismik yang muncul, dimungkinkan adanya tenggang waktu untuk prakiraan tsunami sekaligus penyampaian peringatan ke daerah yang terancam tsunami. Hanya saja, karena belum ada model yang jelas yang dapat menghubungkan gempa bumi dan tsunami, peringatan oleh gelombang seismik menjadi kurang dapat diandalkan. Metode yang lebih pasti adalah dengan menggunakan alat pengamat dasar laut untuk melihat gelombang tsunami di laut lepas dengan jarak sejauh mungkin dari garis pantai.

Metode Penyampaian Peringatan, terlihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Flow Chart dari Tsunami Warning System NOAA
(Sumber gambar :http://www.tsunami.noaa.gov/images/warning-system-smaller.jpg)

Dari Gambar 3.10 di atas merupakan mekanisme kerja dari system , dapat kita lihat bahwa setiap ada gempa yang terjadi di bawah laut maka akan setiap instrument-instrument yang berkaitan akan mengirimkan data hasilnya kepada *Tsunami Warnings Centre*, dari data tersebut apakah akan menghasilkan tsunami atau tidak tetap di beritahukan kepada badan-badan pemerintah yang berwenang yang selanjutnya akan di analisa dan di beritahukan kepada masyarakat umum melalui sirine peringatan maupun Televisi, radio dan televisi kabel.

Kelemahannya:

Tak ada sistem yang dapat melindungi manusia dari bencana tsunami yang terjadi tiba-tiba. Oleh karena itu, sampai saat ini peringatan dini tsunami belum pernah menyelamatkan seorang pun dari bencana tsunami mendadak. Walaupun demikian, peringatan dini tsunami masih dapat bekerja efektif jika jarak pusat gempa sangat jauh. Hal ini dapat memberikan kesempatan bagi para penduduk untuk melakukan evakuasi. Sistem Peringatan Dini merupakan mata rantai yang spesifik (hubungan yang kritis) antara tindakan-tindakan dalam kesiapsiagaan dengan kegiatan tanggap darurat. Ada 2 (dua) faktor yang berperan dalam kerangka Sistem Peringatan Dini yaitu pihak Pengambil Keputusan dan Masyarakat.

Di pihak masyarakat ada tiga unsur yang menentukan bagaimana masyarakat bereaksi terhadap sistem peringatan dini. Unsur-unsur tersebut terdiri dari pengetahuan, sikap, dan perilaku. Selain faktor masyarakat, faktor lain yang berperan dalam kerangka kerja Sistem Peringatan Dini adalah pihak Pengambil Keputusan.

Bab 4

Metode Perhitungan Beban Gempa Metode Statik Ekuivalen (berdasar SNI - 03 - 1726 - 2002)

Bab 4 ini :

- Konsep dan Definisi
- Analisis Beban Statik Ekivalen
- Perencanaan Gedung – Beban Statik Ekivalen
- Ilustrasi Perhitungan Beban Gemapa Statik Ekivalen

Gempa menyebabkan guncangan pada tanah.Guncangan tanah dapat menambah beban pada unsur-unsur bangunan, guncangantanah yang lebih kuat atau unsur-unsur bangunan yang lebih besar dapat menambahbeban. Beban gempa cenderung berarah horizontal (walaupun tetap ada komponen vertikal). Gempa dapat datang dari arah manapun dan akan datang bersiklus.

4.1 Konsep dan Definisi

Struktur gedung tahan gempa yang direncanakan menurut **SNI - 03 - 1726 - 2002** ini mempunyai konsep dasar :

1. Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat;
2. Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki;

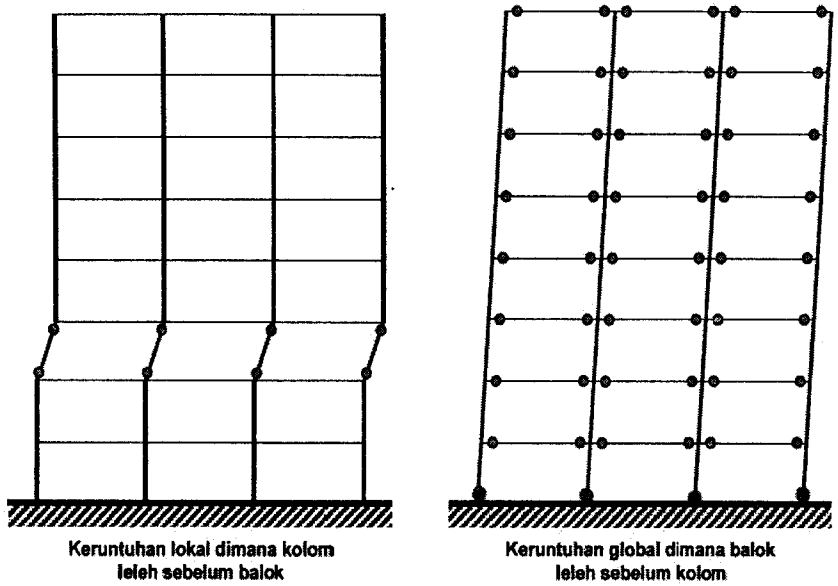
3. Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang;
4. Mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung.

Dari konsep di atas berarti maka tujuan dari teknik pembangunan tahan gempa:

1. Cara terbaik untuk melindungi nyawa manusia adalah memastikan bahwa gedung tidak runtuh.
2. Kerapuhan tiba-tiba akibat bangunan menggunakan bahan yang lemah adalah penyebab utama dari keruntuhan dan harus dicegah.

Atau dengan kata yang lain dengan :

1. **Gempa Ringan**, jika gempa tersebut tidak menimbulkan kerusakan baik elemen struktural dan non struktural dari gedung
2. **Gempa Sedang**, jika gempa tersebut mengakibatkan elemen non struktural boleh rusak tetapi dapat diperbaiki komponen struktural tidak rusak.
3. **Gempa Kuat** , jika gempa tersebut mengakibatkan elemen struktural dan non struktural rusak (terjadi sendi plastis pada struktur) tetapi struktur tidak roboh (mekanisme keruntuhan didesain).
   - Mekanisme keruntuhan lokal, tidak dianjurkan karena keruntuhan terjadi pada kolam lokal lantai tertentu, dimana terjadi sendi plastis di ujung kolom, sehingga keruntuhan terjadi struktur gedung akan roboh, seperti terlihat di Gambar 4.1.
   - Mekanisme keruntuhan global, lini dikenal dengan istilah *strong column weak beam*, yang terjadi sendi plastis di ujung balok, sehingga keruntuhan terjadi dibalok bukan di kolom dan struktur masih berdiri, seperti terlihat di Gambar 4.1



Gambar 4.1 Mekanisme Keruntuhan Lokal dan Global

4.1.1 Beban dan Perpindahan Akibat Gempa

Ketika gempa mengguncang tanah, tanah dibawah sebuah bangunan akan berpindahsecara lateral. Beban di bagian atas bangunan disebabkan oleh pengaruh dariperpindahan tersebut. Tekanan terberat dan perpindahan biasanya terjadi sedikit diatasketinggian fondasi (reaksinya kadang berbeda pada gedung tinggi dan lentur).

4.1.2 Beban Nominal

1. Beban Hidup Nominal Struktur Gedung

Beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang

maupun dari barang yang dapat berpindah atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu.

Pada umumnya, probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban hidup rencana yang biasa ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban hidup nominal.

2. Beban Mati Nominal

Beban yang berasal dari berat sendiri semua bagian dari gedung yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu.

Pada umumnya, probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban mati rencana yang biasa ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban mati nominal.

3. Beban Gempa Nominal Secara Umum

Beban gempa yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang

mengalaminya dan oleh kekuatan lebih yang terkandung di dalam struktur tersebut.

4.1.3 Gempa Rencana dan Kategori Gedung

1. Gempa Rencana

Gempa Rencana ini menyebabkan struktur gedung mencapai kondisi di ambang keruntuhan, tetapi masih dapat berdiri sehingga dapat mencegah jatuhnya korban manusia..Gempa Rencana ditetapkan mempunyai perioda ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun.

2. Kategori Gedung

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I menurut persamaan :

$$I = I_1 \, I_2 \quad \text{.....(4.1)}$$

dimana

I_1: Faktor Keutamaan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur gedung,

I_2: Faktor Keutamaan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

Faktor-faktor Keutamaan I_1, I_2 dan I ditetapkan dalam Tabel 4.1.

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Tabel 4.1 Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

4.1.3 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan sebuah bangunan untuk menahan dan mengurangi pengaruh beban yang berulang-ulang setelah tekanan pertama, artinya bangunan tersebut dapat menahan beban gravitasi tanpa mengalami keruntuhan.

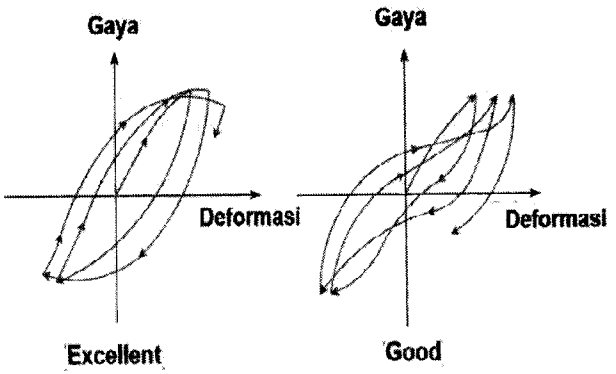
Sebuah bangunan atau elemen yang daktail biasanya tak kuat menahan tegangan. Perancang harus memastikan bahwa elemen-elemen tersebut disusun dengan baik untuk menghindari keruntuhan akibat tegangan. Bangunan satu dan dua lantai biasanya dirancang sebagai bangunan elastis.

satu dan dua lantai biasanya dirancang sebagai bangunan elastis.

Rancangan daktail sebaiknya diaplikasikan pada semua jenis bangunan, termasuk bangunan elastis. Bangunan yang memiliki *ductility* cenderung akan bertahan lebih lama daripada bangunan biasa. (Catatan: bahan atau unsur yang rapuh/getas atau *brittle* bisa hancur tiba-tiba jika sudah melewati batas elastisitasnya.)

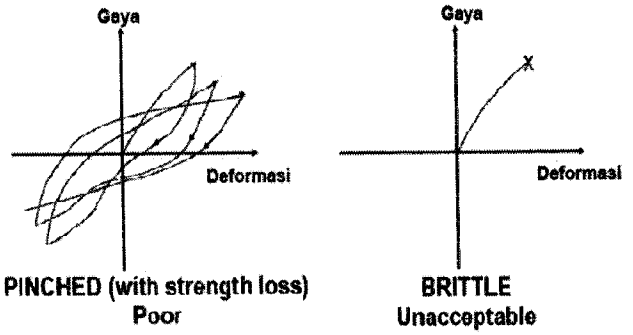
Kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

- Mekanisme kerusakan yang boleh terjadi adalah yang bersifat daktil dan mampumendisipasikan energi secara stabil
- Melibatkan sebanyak mungkin elemen untuk mendisipasi energy
- Perlu perencanaan hirarki keruntuhan, baik dilevel material, penampang, elemen maupun struktur desain kapasitas
- Diperlukan pen-detail-an yang memadai danpembatasan drift/deformasi struktur



Gambar 4.2 Perilaku Struktur Daktail

Perilaku deformasi struktur tidak daktail pada saat terjadi Gaya Gempa berulang atau siklik terlihat di Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perilaku Struktur Tak-Daktail

2. Faktor Daktilitas

Faktor daktilitas struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum struktur akibat pengaruh Gempa Rencana pada kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (Seperti dilustrasiakan pada Gambar 4.1) yang nilainya harus memenuhi Persamaan sebagai berikut :

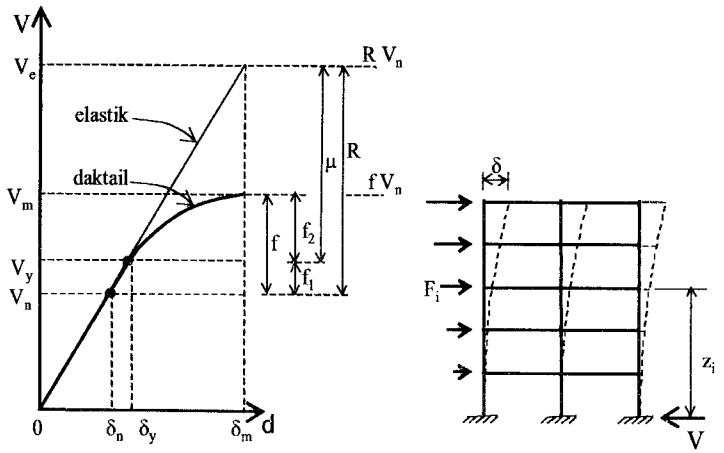
$$1{,}0 \le \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \le \mu_m \quad \text{.....(4.2)}$$

dengan,

μ = Faktor Daktilitas

δ_m =Simpangan maksimum di ambang runtuh

δ_y = Simpangan pada saat leleh pertama



Gambar 4.4 Diagram Beban - Simpangan (V-δ) Gedung

Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa hubungan Beban Elastik dan beban leleh, maka dengan asumsi bahwa struktur gedung daktail dan struktur gedung elastik penuh akibat pengaruh Gempa Rencana menunjukkan simpangan maksimum δ_m yang sama dalam kondisi di ambang

keruntuhan di nyatakan sebagai berikut.

$$V_y = \frac{V_e}{\mu} \quad (4.3)$$

dengan, V_y = Beban saat leleh pertama

V_e = Beban saat

μ = Faktor Daktilitas

Sedangkan beban gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung, maka berlaku hubungan sebagai berikut

$$V_n = \frac{V_y}{f_1} = \frac{V_e}{R} \quad \text{.....(4.4)}$$

dengan, f_1 : 1,6 (factor kuat lebih)

R : faktor reduksi gempa ,

dimana $1{,}6 \le R = \mu f_1 \le R_m$

R_m: faktor reduksi gempa maksimum

Dalam Tabel 4.2 dicantumkan nilai R untuk berbagai nilai μ yang bersangkutan dengan ketentuan bahwa nilai dan R tidak dapat melampaui nilai maksimumnya R_m.

Tabel 4.2 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktail penuh	5,3	8,5

Nilai faktor daktilitas struktur gedung μ di dalam perencanaan struktur gedung dapat dipilih menurut kebutuhan, tetapi tidak boleh diambil lebih besar dari nilai faktor daktilitas maksimum μ_m yang dapat dikerahkan oleh masing-masing sistem atau subsistem struktur gedung.

Dalam Tabel 4.2 di atas ditetapkan nilai μ_m yang dapat dikerahkan oleh beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung, berikut faktor reduksi maksimum R_m yang bersangkutan.

Apabila sistem struktur gedung terdiri dari beberapa jenis subsistem struktur gedung yang berbeda, faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung itu untuk arah pembebanan gempa tersebut, dapat dihitung sebagai nilai rata-rata berbobot dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh masing-masing jenis subsistem sebagai besaran pembobotnya menurut persamaan :

$$R = \frac{\Sigma V_s}{\Sigma V_s / R_s} \quad \text{..... (4.5)}$$

di mana,

R_s = Faktor reduksi gempa masing-masing subsistem struktur gedung

V_s = Gaya geser dasar yang dipikul oleh masing-masing subsistem struktur gedung

Metoda ini hanya boleh dipakai, apabila rasio antara nilai-nilai faktor reduksi gempa dari jenis-jenis subsistem struktur gedung yang ada tidak lebih dari 1,5.

Untuk jenis subsistem struktur gedung yang tidak tercantum dalam Tabel 4. 3, nilai faktor daktilitasnya dan faktor reduksi gempanya harus ditentukan dengan cara-cara rasional, misalnya dengan menentukannya dari hasil analisis beban dorong statik (*static push-over analysis*).

Tabel 4.3 Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b.Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
4.Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1.Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2.Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3.Rangka bresing biasa			
	a.Baja	3,6	5,6	2,2
	b.Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4.Rangka bresing konsentrik khusus			
	a.Baja	4,1	6,4	2,2
	5.Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
	6.Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3,6	6,0	2,8
	7.Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
6. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a.Baja	2,7	4,5	2,8
	b.Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8

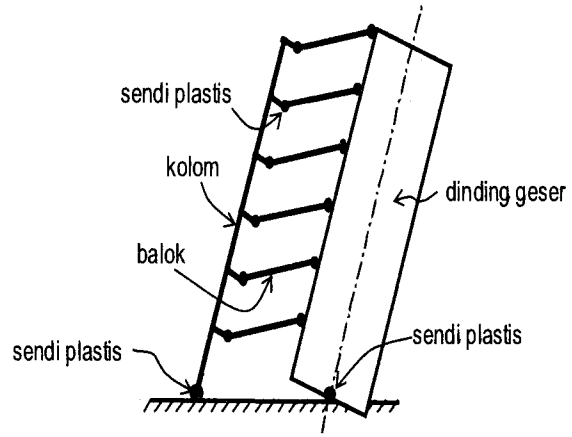
Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
7. Sistem ganda (Terdiri dari: 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi /sistem ganda)	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c.Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
5.Sistem struktur gedung kolom kantilever: (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	10,4	2,2	2
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	1.Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh.	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

4.1.4 Dinding Geser

1. Dinding geser beton bertulang kantilever

Suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh Gempa Rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya (lihat Gambar 4.6). Rasio antara tinggi dan lebar dinding geser tidak boleh kurang dari 2 dan lebar tersebut tidak boleh kurang dari 1,5 m.



Gambar 4.5 Mekanisme Keruntuhan Ideal Gedung dengan Dinding Geser

2. Dinding geser beton bertulang berangkai

Suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh Gempa Rencana, yang terdiri dari dua buah atau lebih dinding geser yang dirangkaikan oleh balok-balok perangkai dan yang runtuhnya terjadi dengan sesuatu daktilitas tertentu oleh terjadinya sendi-sendi plastis pada ke dua ujung balok-balok perangkai dan pada kaki semua dinding geser, di mana masing-masing momen lelehnya dapat mengalami peningkatan hampir sepenuhnya akibat pengerasan

regangan. Rasio antara bentang dan tinggi balok perangkai tidak boleh lebih dari 4.

4.2 Analisis Beban Statik Ekivalen

Suatu cara analisis statik struktur, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horisontal untuk menirukan pengaruh gempa yang sesungguhnya akibat gerakan tanah.

Merupakan metode penyederhanaan dari analisis dinamik. Beban gempa yang bekerja diasumsikan sebagai beban titik yang bekerja pada tiap lantai

Besaran gaya gempanya merupakan fungsi dari beberapa hal, antara lain : jenis struktur, tingkat kepentingan struktur, faktor daktilitas, berat bangunan, faktor keutamaan struktur dan lokasi bangunan.

1.1.1 Syarat Penggunaan Analisis Statik Ekuivalen Pada Gedung

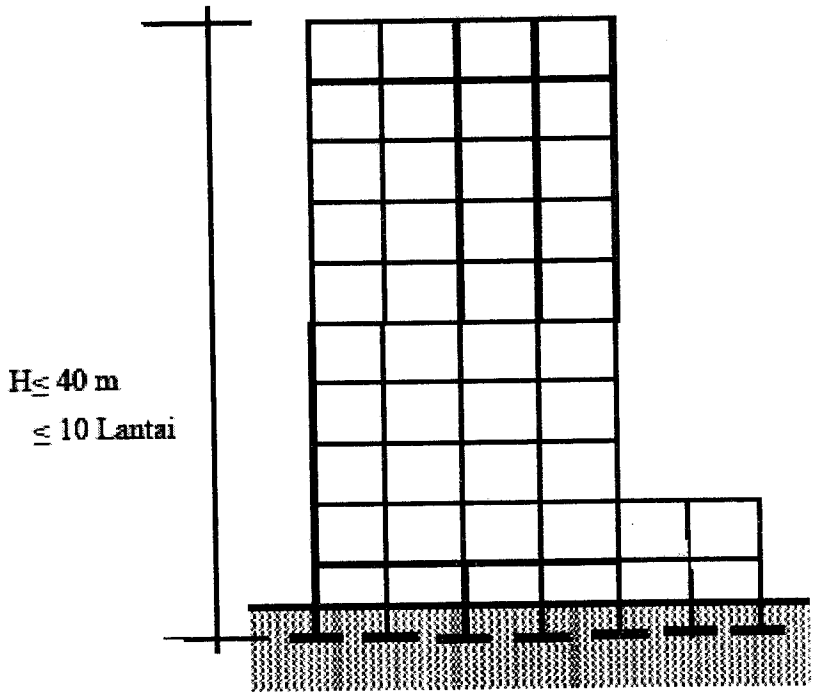
1. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 lantai atau 40 m,(lihat Gambar 4.7).
2. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan kalaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut , (lihat Gambar 4.8)
3. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan kalaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung pada arah sisi coakan , (lihat Gambar 4.8)
4. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling

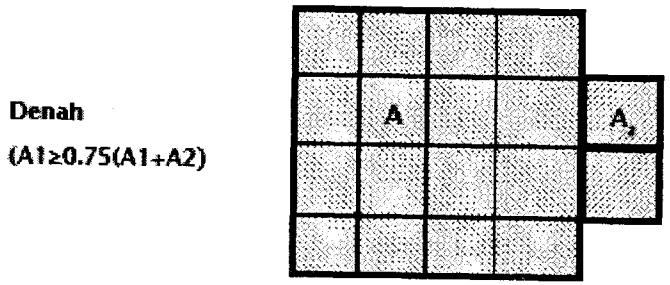
tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan (lihat pada Gambar 4.7 dan 4.8)

5. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan kalaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka, seperti terlihat pada ilustrasi Gambar 4.75.
6. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar tingkat.
7. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
8. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
9. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada

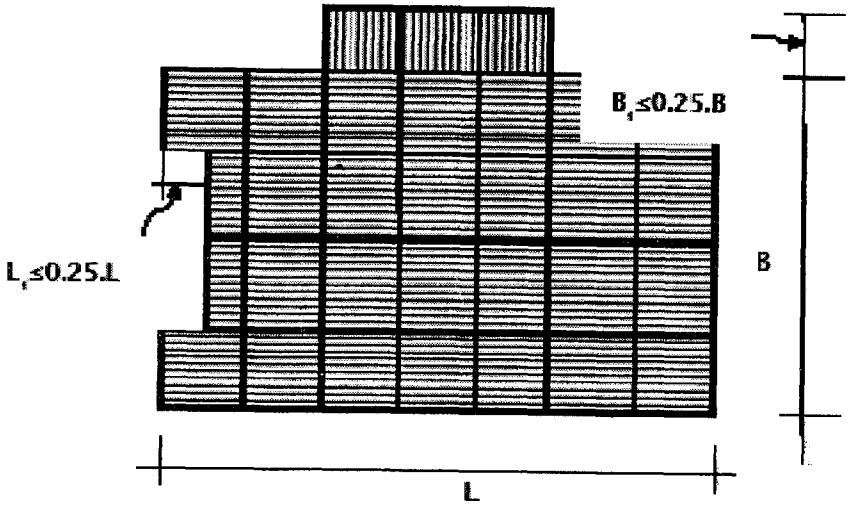
lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan menurut persyaratan di atas, ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh Gempa Rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik





Gambar 4.7 Persyaratan Tinggi Gedung dan Luasan Loncatan Bidang Muka



Denah Gedung Lantai Banyak

Gambar 4.8 Persyaratan Tonjolan dan Coakan

1.1.2 Respon Spektra Gempa dan Waktu Getar Alami

Menurut SNI 03-1726-2002 dan seperti yang telah diuraikan pada Bab 2, Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11atas

percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana seperti terlihat pada Tabel 2.4.

Beban geser dasar nominal statik ekuivalen akibat Gempa Rencana pada struktur gedung beraturan seperti yang diuraikan di atas, untuk masing-masing Wilayah Gempa ditetapkan Spektrum Respons Gempa Rencana C-T seperti terlihat dalam Gambar 4.9. Untuk T = 0 nilai C tersebut menjadi sama dengan Ao, di mana Ao merupakan percepatan puncak muka tanah menurut Tabel 2.4.Sedangkan percepatan respons maksimum A_m sebesar

$A_m = 2{,}5\ A_o$ ..... (4.6)

dan waktu getar alami sudut T_c sebesar 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik untuk berbagai jenis tanah , maka, Faktor Respons Gempa C ditentukan oleh persamaan-persamaan sebagai berikut :

untuk $T \leq T_c : C = A_m$ ..... (4.7)

untuk $T > T_c : C = \frac{A_r}{T}$ ..... (4.8)

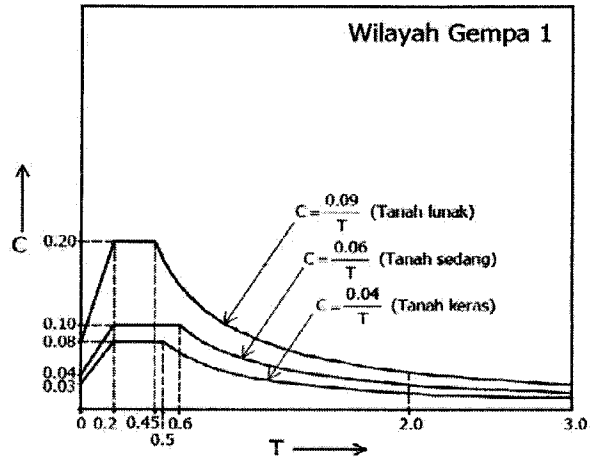
dengan,

$A_r = A_m . T_c$ ..... (4.9)

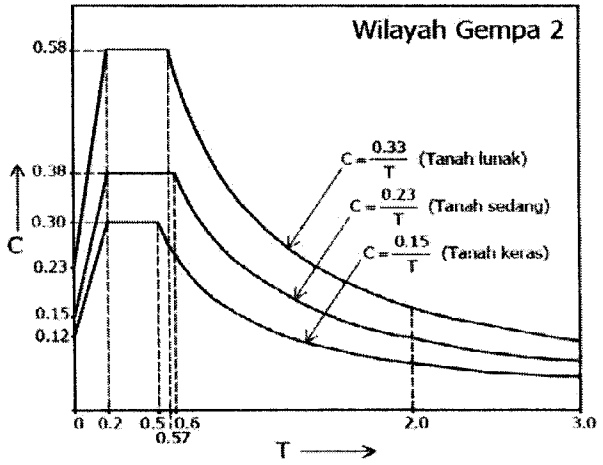
Dalam Tabel4. 4, nilai-nilai A_m dan $_r$ dicantumkan untuk masing-masing Wilayah Gempa dan masing-masing jenis tanah.

Tabel 4.4 Spektrum Respons Gempa Rencana

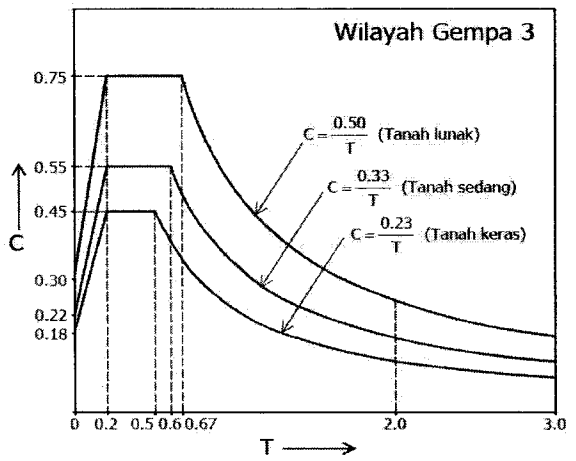
Wilayah Gempa	Tanah keras T_c = 0,5 det.		Tanah Sedang T_c = 0,6 det.		Tanah Lunak T_c = 1,0 det.	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95



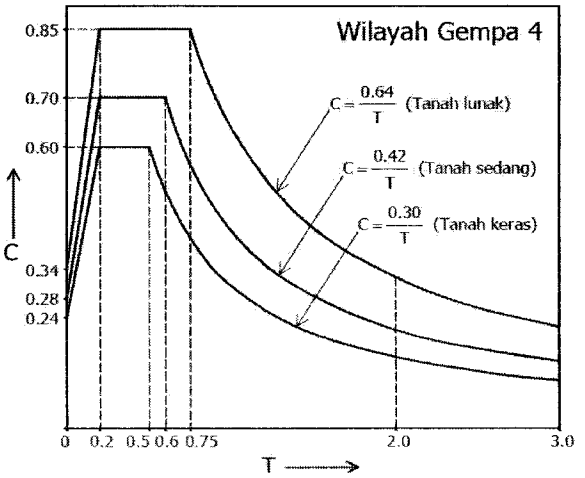
Gambar 4.9a Respons Spectra Gempa Rencana Wilayah 1



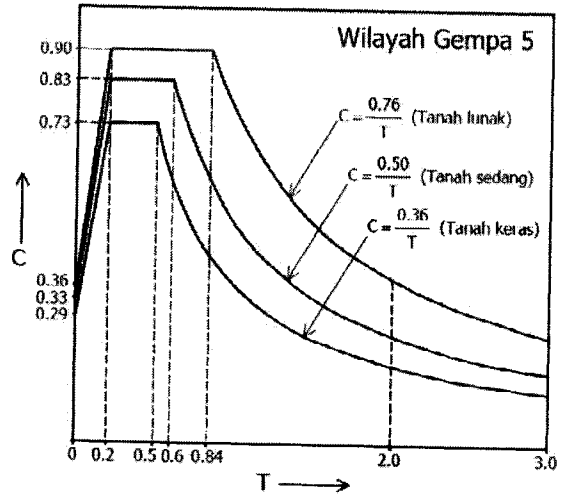
Gambar 4.9b Respons Spectra Gempa Rencana Wilayah 2



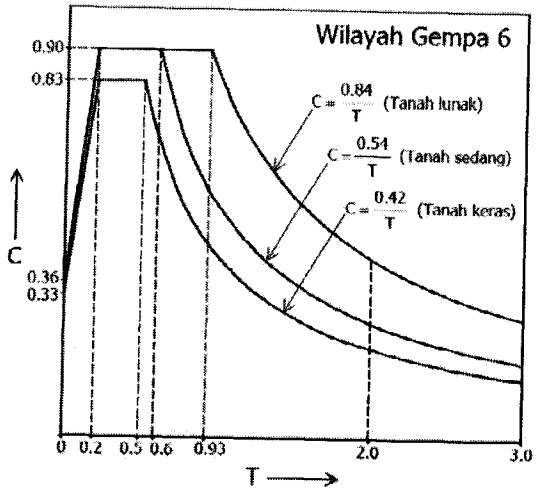
Gambar 4.9c. Respons Spectra Gempa Rencana Wilayah 3



Gambar 4.9d Respons Spectra Gempa Rencana Wilayah 4



Gambar 4.9e Respons Spectra Gempa Rencana Wiilayah 5



Gambar 4.9f. Respons Spectra Gempa Rencana Wilayah 6

1. Pengaruh Gempa Vertikal

Unsur-unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi seperti balkon, kanopi ,balok kantilever berbentang panjang, balok transfer pada struktur gedung tinggi yang memikul beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya serta balok beton pratekan berbentang panjang, harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat pengaruh Gempa Rencana Vertikal nominal statik ekuivalen yang bekerja ke atas atau ke bawah yang besarnya dihitung sebagai perkalian Faktor Respons Gempa vertikal C_v menurut persamaan,

$$C_v = \psi . A_o . I \quad \text{.....} \quad (4.10)$$

dengan,

ψ = koefisien Faktor Gempa vertikal(Tabel 4.5)
A_o = percepatan puncak muka tanah (Tabel 4.3)
I = Faktor Keutamaan gedung (Tabel 4.1).

Tabel 4.5 Koefisien ψ

Wilayah gempa	ψ
1	0,5
2	0,5
3	0,5
4	0,6
5	0,7
6	0,8

2. Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk berbagai jenis struktur, adalah :

$$T_1 < \zeta . H^{3/4} \quad \text{.....} \quad (4.11)$$

di mana koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Koefisien ζ

Wilayah Gempa	ζ
Sedang dan ringan : Rangka Baja	0,119
Sedang dan ringan : Rangka Beton dan RBE	0,102
Sedang dan ringan : Bangunan lainnya	0,068
Berat : Rangka Baja	0,111
Berat : Rangka Beton dan RBE	0,095
Berat : Bangunan lainnya	0,063

Ada 4 alasan untuk membatasi waktu getar fundamental suatu struktur gedung, yaitu :

- untuk mencegah Pengaruh P-Delta yang berlebihan;
- untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa yang menyebabkan pelelehan pertama, yaitu untuk menjamin kenyamanan penghunian dan membatasi kemungkinan terjadinya kerusakan struktur akibat pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, maupun kerusakan non-struktur.
- untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa maksimum, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang menelan korban jiwa manusia.
- untuk mencegah kekuatan (kapasitas) struktur terpasang yang terlalu rendah, mengingat struktur gedung dengan waktu getar fundamental yang panjang menyerap beban gempa yang rendah (terlihat dari spektrum respons C-T), sehingga gaya internal yang terjadi di dalam unsur-unsur struktur menghasilkan kekuatan terpasang yang rendah.

3. Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah

struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen,.

Beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan :

$$V = \frac{C_1 \, I}{R} W_t \qquad \text{(4.12)}$$

di mana ,

C_1 : Faktor Respons Gempa berdasar Spektrum Respons Gempa Rencana (Gambar 4.9) untuk waktu getar alami fundamental T_1

W_t: adalah berat total gedung, termasuk beban hidup ,yang merupakan jumlah dari beban - beban berikut

a. Beban mati total struktur dari bangunan,
b. Bila digunakan dinding paratisi pada perencanaan lantai, maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa,
c. Pada gudang-gudang dan tempat penyimpanan barang, maka 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan,
d. Beban tetap dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan.

Beban geser dasar nominal V diatas harus didistribusikan bagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i menurut persamaan :

$$F_i = \frac{W_i \, z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i \, z_i} V \qquad \text{(4.13)}$$

di mana

W_i: berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup

z_i: tinggi lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral, seperti berikut,

a. Apabila tidak dilakukan analisis interaksi tanah-struktur, struktur atas dan struktur bawah dari suatu struktur gedung dapat dianalisis terhadap pengaruh Gempa Rencana secara terpisah, di mana struktur atas dapat dianggap terjepit lateral pada taraf lantai dasar. Selanjutnya struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya.
b. Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada bidang telapak fondasi langsung, bidang telapak fondasi rakit dan bidang atas kepala (pur) fondasi tiang.

n : nomor lantai tingkat paling atas.

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka 0,1 V harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan 0,9 V sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut Persamaan 4.13.

Pada tangki di atas menara, beban gempa nominal statik ekuivalen sebesar V harus dianggap bekerja pada titik berat massa seluruh struktur menara dan tangki berikut isinya.

4.2.3 Waktu getar alami fundamental

Berhubung struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur praktis berperilaku sebagai struktur 2D, maka waktu getar alami fundamentalnya dalam arah masing-masing sumbu utama tersebut dapat dihitung dengan rumus Rayleigh

sesuai Persaman (4.14) yang berlaku untuk struktur 2D. Rumus ini diturunkan dari hukum kekekalan energi pada suatu struktur 2D yang dalam keadaan melendut sewaktu bervibrasi, disamakan energi potensialnya dengan energi kinetiknya.

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

$$T_1 = 6{,}3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \, d_i^2}{g \sum_{i=1}^{n} F_i \, d_i}} \qquad \text{.....(4.14)}$$

di mana W_i dan F_i mempunyai arti yang sama seperti yang disebut dalam Persamaan (4.12), d_i adalah simpangan horisontal lantai tingkat ke-i dinyatakan dalam mm dan 'g' adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 9810 mm/det^2.

Untuk menentukan beban gempa nominal statik ekuivalen, waktu getar alami fundamental yang dihitung dengan rumus Rayleigh ditetapkan sebagai standar. Waktu getar alami boleh saja ditentukan dengan cara lain, asal hasilnya tidak menyimpang (ke atas atau ke bawah) lebih dari 20% dari nilai yang dihitung dengan rumus Rayleigh.

4.2.4 Pengaruh P-Delta

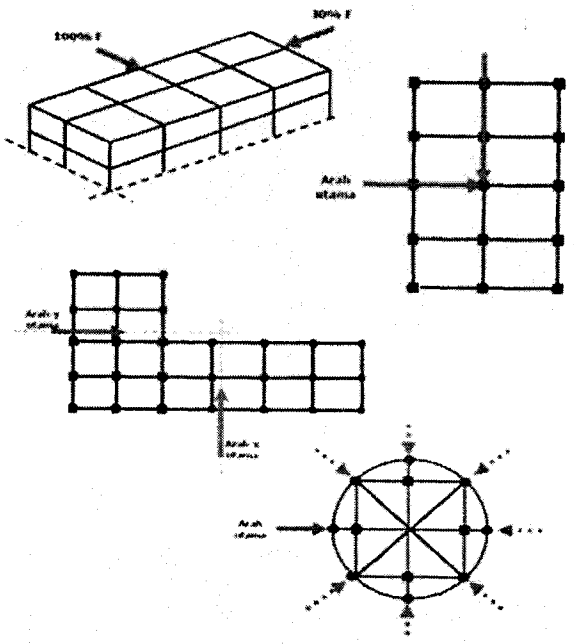
Struktur gedung yang tingginya diukur dari taraf penjepitan lateral adalah lebih dari 10 tingkat atau 40 m, harus diperhitungkan terhadap Pengaruh P-Delta, yaitu suatu gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, di mana simpangan ke samping yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban lateral tambahan

akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang ke samping.

4.2.5 Arah Pembebanan Gempa

Arah utama pengaruh Gempa Rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sistem struktur gedung secara keseluruhan.

Pengaruh pembebanan gempa,dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama dengan efektifitas 30%. (lihat Gambar 4.10)



Gambar 4.10. Arah Pembebanan Gempa

4.3 Perencanaan Gedung – Beban Statik Ekivalen

4.3.1 Perencanaan Struktur Atas dan Struktur Bawah

Pada perencanaan struktur gedung dengan besmen dalam yang terdiri dari banyak lapis, dihadapi masalah interaksi tanah-struktur yang rumit. Penyederhanaan masalahnya adalah dengan memisahkan peninjauan struktur atas dari struktur bawah, dengan asumsi sbb :

1. Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah, dan dianggap terjepit pada taraf lantai dasar,
2. Struktur bawah adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di bawah muka tanah, yang terdiri dari struktur besmen (kalau ada) dan/atau struktur fondasinya.
3. Struktur bawah dapat ditinjau sebagai struktur 3D tersendiri di dalam tanah yang mengalami pembebanan dari struktur atas, dari gaya inersianya sendiri dan dari tanah sekelilingnya.
4. Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada bidang telapak fondasi langsung, bidang telapak fondasi rakit dan bidang atas kepala (pur) fondasi tiang.
5. Dalam perencanaan struktur atas dan struktur bawah suatu gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, struktur bawah tidak boleh gagal lebih dahulu dari struktur atas. Pengaruh Gempa Rencana unsur-unsur struktur bawah harus tetap berperilaku elastik penuh, tak bergantung pada tingkat daktilitas yang dimiliki struktur atasnya.
6. Pengaruh Gempa Rencana struktur bawah yang berperilaku elastik penuh, harus ditentukan atas dasar $\mu = 1$ dan $R = f_1 = 1{,}6$, sebagaimana berlaku untuk struktur elastik penuh.

4.3.2 Perencanaan Struktur Penahan Beban Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, harus diperhatikan hal-hal sbb:

1. Semua unsur struktur gedung, baik bagian dari subsistem struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung seperti rangka (portal), dinding geser, kolom, balok, lantai, lantai tanpa balok (lantai cendawan) dan kombinasinya, harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana.
2. Pengabaian pemikulan pengaruh Gempa Rencana oleh salah satu atau lebih kolom atau subsistem struktur gedung yang disebut butir 1 hanya diperkenankan, bila partisipasi pemikulan pengaruh gempanya adalah kurang dari 10%. Tetapi, unsur atau sistem struktur tersebut harus diperhitungkan terhadap simpangan struktur gedung akibat beban gempa nominal, seandainya struktur gedung tersebut berperilaku elastik penuh.
3. Dalam suatu sistem struktur yang terdiri dari kombinasi dinding-dinding geser dan rangka-rangka terbuka, beban geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang dipikul oleh rangka-rangka terbuka tidak boleh kurang dari 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut.

4.3.3 Lantai Tingkat Sebagai Diafragma

Dalam perencanaan struktur atas bangunan gedung, lantai tingkat beton diasumsikan sebagai diafragama, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung dapat dianggap sangat kaku dalam bidangnya dan karenanya dapat dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa horisontal.
2. Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan

ikatan suatu struktur gedung yang tidak kaku dalam bidangnya, jika mengandung lubang-lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat, akan mengalami deformasi dalam bidangnya akibat beban gempa horisontal, yang harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap pembagian beban gempa horisontal tersebut kepada seluruh sistem struktur tingkat yang ada.

4.3.4 Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi Lantai Tingkat

Pada perencanaan struktur gedung, perlu ditentukan atau dihitung letak Pusat Massa dan Pusat Rotasi Lantai tingkat untuk mengetahui eksentrisitas dan perilaku stryktur pada saat Gempa Rencana.

1. Pusat Massa Lantai Tingkat adalah titik tangkap beban gempa statik ekuivalen atau gaya gempa dinamik yang merupakan titik tangkap resultante beban mati, berikut beban hidup yang sesuai, yang bekerja pada lantai tingkat itu.
2. Pusat rotasi lantai tingkat suatu struktur gedung adalah suatu titik pada lantai tingkat itu yang bila suatu beban horisontal bekerja padanya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertranslasi, sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horisontal semuanya berotasi dan bertranslasi.
3. Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana e_d. Apabila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b, maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut :

- untuk $0 < e \leq 0{,}3\ b$:

$$e_d = 1{,}5\ e + 0{,}05\ b \quad \text{..... (4.14)}$$

$e_d = e - 0{,}05\ b$ ..... (4.15)

dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau;

- untuk $e > 0{,}3\ b$:

  $e_d = 1{,}33\ e + 0{,}1\ b$ ..... (4.16)

  $e_d = 1{,}17\ e - 0{,}1\ b$ .....(4.17)

  dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau.

4. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, eksentrisitas rencana e_d antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat di atas harus ditinjau baik dalam analisis statik, maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi.

4.3.5 Kekakuan Struktur

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang sebagai berikut :

1. untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka :75%
2. untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 60%
3. untuk dinding geser beton bertulang berangkai
   a. dinding yang mengalami tarikan aksial : 50%
   b. dinding yang mengalami tekanan aksial : 80%
   c. alok perangkai dengan tulangan diagonal : 40%
   d. balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20%

c. alok perangkai dengan tulangan diagonal : 40%
d. balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20%

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, kekakuan unsur struktur yang ditetapkan yang diuarikan di atas harus dipakai baik dalam analisis statik maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi.

4.3.6 Beban Ultimit dan Kuat Ultimit

Kuat Ultimit dan Beban Ultimit Struktur Gedung diformulasikan berturut-turut sebagai berikut:

$R_u = \phi\ R_n$ ..... (4.18)

$Q_u = \gamma\ Q_n$ ..... (4.19)

di mana ϕ adalah faktor reduksi kekuatan, R_n adalah kekuatan nominal struktur gedung, γ adalah faktor beban dan Q_n adalah pembebanan nominal pada struktur gedung tersebut, maka menurut Perencanaan Beban dan Kuat Terfaktor harus dipenuhi persyaratan keadaan batas ultimit sebagai berikut :

$R_u \geq Q_u$ ..... (4.20)

Dengan menyatakan beban mati nominal sebagai D_n, beban hidup nominal sebagai L_n dan beban gempa nominal sebagai E_n, maka Perencanaan Beban dan Kuat Terfaktor harus dilakukan dengan meninjau pembebanan ultimit pada struktur gedung sebagai berikut:

- untuk kombinasi pembebanan oleh beban mati dan beban hidup

  $Q_u = \gamma_D\ D_n + \gamma_L\ L_n$ .....(4.21)

- untuk kombinasi pembebanan oleh beban mati, beban hidup dan beban gempa :

  $Q_u = \gamma_D\ D_n + \gamma_L\ L_n + \gamma_E\ E_n$ .....(4.22)

di mana γ_D, γ_L dan γ_E adalah faktor-faktor beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal, yang nilai-nilainya ditetapkan dalam standar

pembebanan struktur gedung dan/atau dalam standar beton atau standar baja yang berlaku.

Beban mati nominal dan beban hidup nominal adalah beban-beban yang nilainya adalah sedemikian rupa, sehingga probabilitas adanya beban-beban yang lebih besar dari itu dalam kurun waktu umur gedung terbatas sampai suatu persentase tertentu. Namun demikian, beban mati rencana dan beban hidup rencana yang ditetapkan dalam standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban-beban nominal.

4.3.7 Kinerja Struktur Gedung

1. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan disamping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyaman, ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh Gempa Nominal yang telah dibagi Faktor Skala. dan ketidaknyamanan penghuni.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, maka simpangan antar-tingkat maksimum (∂_m) harus memenuhi persyaratan berikut

$$\partial_m \le \frac{0{,}03}{R} H_{tingkat} \quad \text{..... dari Persamaan (4.23)}$$

$$\partial_m \le 30 \ mm \quad \text{..... dari Persamaan (4.24)}$$

2. Kinerja batas ultimit

Kinerja batas ultimit untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur

gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi).

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur (δ_m x ξ) tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

Untuk struktur gedung beraturan : ξ = 0,7 R, maka :

- $\delta m \, . \, \xi < 0{,}02 \, . H_{tingkat}$, maka
- $\delta m \, (0{,}7 \, R) < 0{,}02 \, H_{tingkat}$ ..... (4.25)

di mana

R : faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Jarak pemisah antar-gedung harus ditentukan paling sedikit sama dengan jumlah simpangan maksimum masing-masing struktur gedung pada taraf itu segala hal masing-masing jarak tersebut tidak boleh kurang dari 0,025 kali ketinggian taraf itu diukur dari taraf penjepitan lateral.

Dua bagian struktur gedung yang tidak direncanakan untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan dalam mengatasi pengaruh Gempa Rencana, harus dipisahkan yang satu terhadap yang lainnya dengan suatu sela pemisah (sela delatasi) yang lebarnya paling sedikit harus sama dengan jumlah simpangan masing-masing bagian struktur gedung pada taraf itu yang dihitung dengan cara di atas. Dalam segala hal lebar sela pemisah tidak boleh ditetapkan kurang dari 75 mm.

Sela pemisah yang disebut di atas harus direncanakan detailnya dan dilaksanakan sedemikian rupa, sehingga senantiasa bebas dari kotoran atau benda-benda penghalang. Lebar sela pemisah juga harus memenuhi semua toleransi pelaksanaan.

4.3.7 Tahapan Perencanaan Beban Gempa Statik Ekivalen pada Gedung

Tahapan Perencanaan Gedung – Beban Statik Ekivalen.

1. Modelisasi dan identifikasi Struktur Bangunan Gedung yang akan dianalisis.
   a. Ketinggian struktur, penjepitan lateral
   b. Jenis struktur, struktur beton, baja dll
   c. Dimensi komponen pembentuk struktur, balok, kolom pelat, dinding geser, guna menghitung kekakuan lantai tingkat, pusat masa, pusat rotasi dan ensentisitasnya.
   d. Data material pembentuk komponen struktur, seperti Kekuatan ijin (f'_c,f'_y), modulus elastis
   e. Pembebanan , Beban Hidup dan Beban mati yang direncanakan sesuai fungsi gedung.
2. Identifikasi data lokasi dan situasi Bangunan Gedung yang akan dianalisis, yang meliputi :
   a. Lokasi bangunan untuk menentukan klasifikasi Wilayah Gempa.
   b. Data Tanah setempat (lunak, sedang atau keras)
3. Menentukan Percepatan Puncak Spectrum Percepatan Respons Gempa. Berdasar data di butir dua bisa ditentukan:
   a. Percepatan Puncak Batuan dasar , berdasar Tabel 2.4 pada Bab 2 (Tabel 5 SNI-03-1726-2002)
   b. Percepatan Puncak Muka tanah, berdasar Tabel 2.4 pada Bab 2 (Tabel 5 SNI-03-1726-2002)
   c. Spectrum Percepatan Gempa (A_m), dan Pembilang Faktor Respons Spectrum Gempa di Kurva Hiperbola (R) serta Waktu Getar Alami Sudut (T_c), ditentukan berdasar Tabel 4.4 di atas (Tabel 6 SNI -03-1726-2002)
4. Menentukan Faktor Keutamaan (I), Factor Reduksi (R) dan jenis konstruksi.

   a. Untuk menentukan Faktor Keutamaan (I), digunakan Tabel 4.1 di atas (Tabel 1 SNI 03-1726-2002)
   b. Untuk menentukan Faktor Reduksi (R), digunakan Tabel 4.2 sd Tabel 4.3 diatas (Tabel 2 dan 3- SNI 03-1726-2002)
5. Menghitung Berat Struktur Total.
   Berat Per lantai bangunan dihitung Beban Mati ½ tinggi kolom diatas dan di baewah lantai yang bersangkutan dan Beban Hidup Rencana. Khusus Untuk Lantai Dasar atau Lantai 0 memikul beban mati ½ tinggi kolom di atas dan seluruh tinggi kolom di bawah Lantai Dasar tersebut.
6. Menentukan Pembebanan dan Arah Pembebanan
   Pengaruh pembebanan gempa,dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%. (lihat Gambar 4.10)
7. Menghitung Berat Struktur per Lantai (W_i) dan tinggi masing-masing lantai (z_i), serta menghitung $\Sigma(W_i.z_i)$
   a. Tinggi masing-masing lantai (z_i) diukur dari penjepitan lateral.
   b. W_i merupakan hasil hitungan langkah/prosedur pada butir 4 di atas
8. Menghitung Nilai Waktu Getar Alami (T) dan Faktor Respons Gempa (C).
   a. Waktu Getar Alami Fundamental (T_1) dihitung berdasar Rurmus Empirik berdasar Pers. 4.11 dan Tabel 4.6 (Tabel 7 - SNI-03-1726-2002), seperti yang diuraikan di atas.
   b. Berdasar Waktu Getar Alami fundamental (T_1) ditas dapat ditentukan Factor Respons Gempa (C) berdasar Perasamaan 4.6 sd 4.9 atau kurva Respons Spectra sesuai Wilayah Gempa dimana bagunan ini terletak.

9. Menghitung Gaya Geser Dasar Nominal Statik Ekivalen (V),
10. Menghitung beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i.
11. Kontrol rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa H/L
    a. Jika H/L> 3, maka lantai atas dikoreksi dengan menambahkan nilai Gaya Lateral sebesar 0,1.V.
    b. Jika H/L< 3, maka tidak perlu koreksi
12. Kontrol Waktu Getar Alami dengan cara Rayleigh.
    a. Menghitung $T_{Raleigh}$ berdasar Pers. 4.14
    b. Jika $[T\text{-}T_{Raleigh}] > 20\%$, maka koreksi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i
    c. Jika $[T\text{-}T_{Raleigh}] < 20\%$, maka tidak perlu ada koreksi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i
13. Kontrol Kinerja Struktur Gedung
    a. Kinerja Batas Layan, simpangan antar-tingkat maksimum (∂_m) harus memenuhi persyaratan berikut

$$\partial_m \le \frac{0{,}03}{R} H_{tingkat} \quad \text{..... dari Persamaan (4.23)}$$

$$\partial_m \le 30\ mm \quad \text{..... dari Persamaan (4.24)}$$

    b. Kinerja batas ultimit,simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur (δm .ξ) , haraus memenuhi persayaratan,:
    - $\delta m \,.\, \xi < 0{,}02 \,.H_{tingkat}$

di mana

$\xi = 0{,}7.R$

R : faktor reduksi

4.4 Ilustrasi Perhitungan Beban Gempa Statik Ekivalen

Uraian berikut adalah ilustrasi perhitungan beban Gempa dengan metada Analisis Beban Statik Ekivalen.

Bangunan Kantor Empat Lantai dengan denah lantai dan potongan tergambar, terbuat dari struktur beton, dengan mutu beton yang dipakai f'_c= 20 MPa. Bangunan terletak di daerah Yogyakarta, dan dianggap terletak diatas tanah sedang. Ukuran semua kolom, balok untuk masing lantai terlihat dan dideskripsikan dalam Gambar Denah berikut.

Tentukan, dengan metoda Beban Statik Ekivalen :

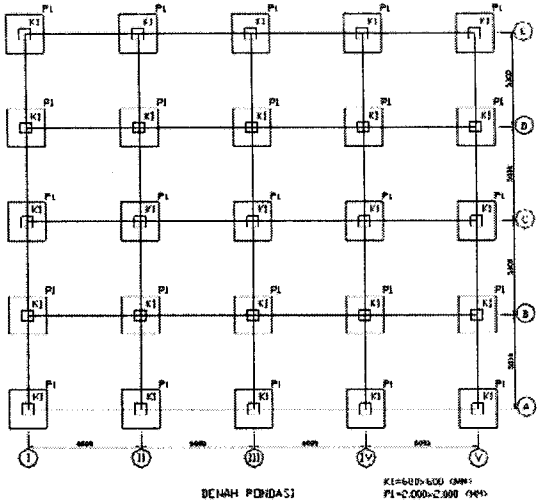
a. Gaya Gempa pada masing-masing lantai
b. Gaya Geser Gempa Dasar pada Struktur bangunan tersebut

Penyelesaian:

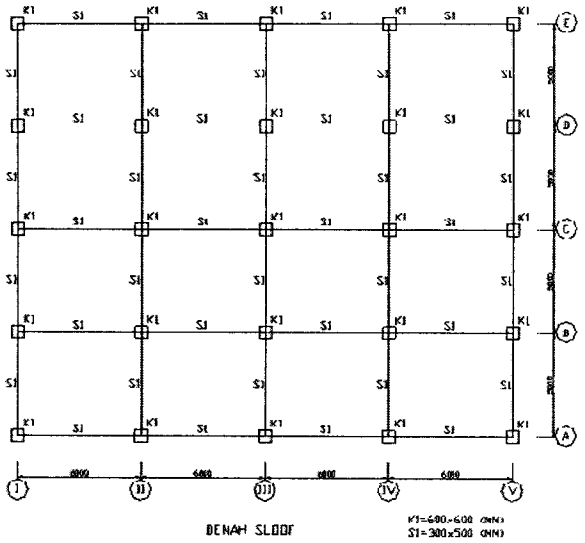
1. Modelisasi dan identifikasi Struktur Bangunan Gedung yang akan dianalisis.

a. Ketinggian struktur, tinggi penjepitan lateral, serta dimensi komponen pembentuk struktur terlihat pada modelisasi denah lantai dan potongan portal tegambar pada Gambar 4.11 sd 4.15.
b. Jenis struktur, struktur beton, dengan data material f'c =20 MPa dan Fy = 240 MPa
c. Pembebanan , Beban Hidup dan Beban mati yang direncanakan untuk kantor adalah debagai berikut.

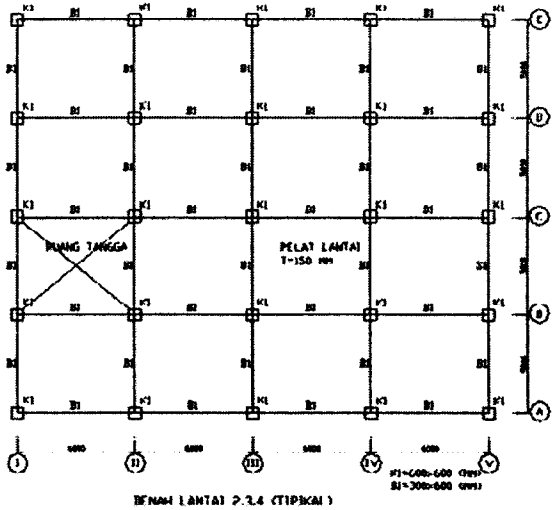
- Beban Mati :
  - Beton bertulang = 2.400 kg/m³
  - Dinding Bata ½ batu = 250 kg/m²
  - Finishing (keramik) = 100 kg/m²
- Beban Hidup :
  - Kantor = 250 kg/m²
  - Atap = 100 kg/m²



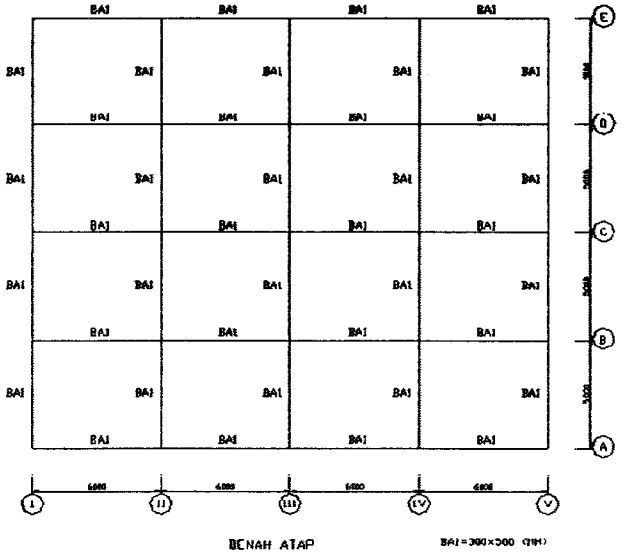
Gambar 4.11 Modelisasi - Denah Fondasi



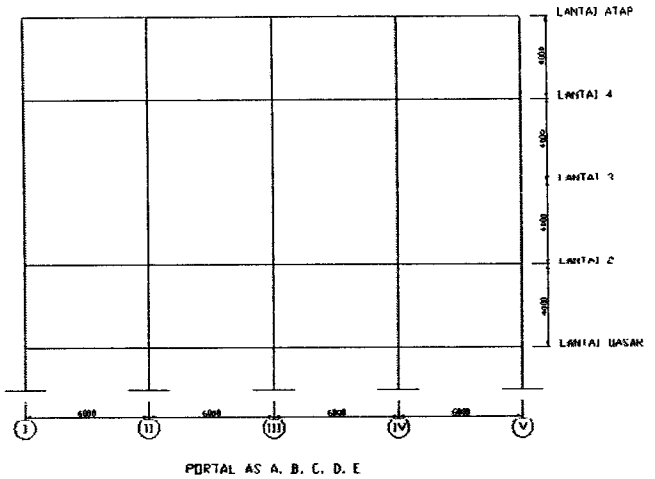
Gambar 4.12 Modelisasi - Denah sloof



Gambar 4.13 Modelisasi - Denah Lantai 2,3 dan 4 (tipikal)



Gambar 4.13 Modelisasi - Denah Atap

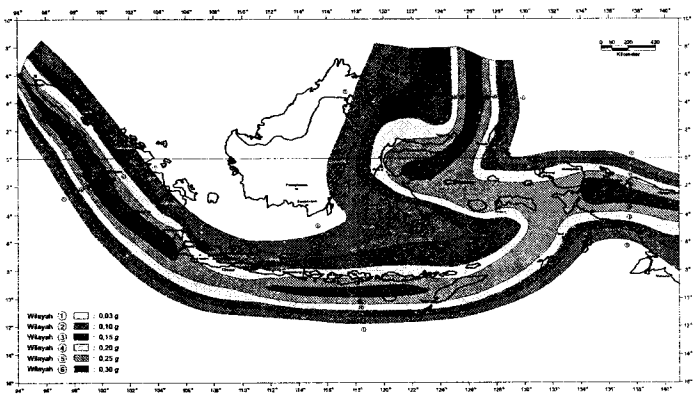


Gambar 4.15 Modelisasi - Potongan Portas As A,B,C, D dan E

Kesimpulan : Penjepitan Lateral di Lantai Dasar

2. Identifikasi Data Lokasi dan Situasi Bangunan Gedung

Lokasi bangunan di Yogyakarta , maka dari ta lokasi gempa di atas maka Yogyakarta ada di Wilayah Gempa 3



Gambar 2.1. Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun

3. Menentukan Percepatan Puncak Spectrum Percepatan Respons Gempa.

Dari Tabel Percepatan Puncak Batuan Dasar Dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia (Tabel 5 SNI-03-1726-2002) berikut, maka :

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan maksimum permukaan tanah (PGA), A_o ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

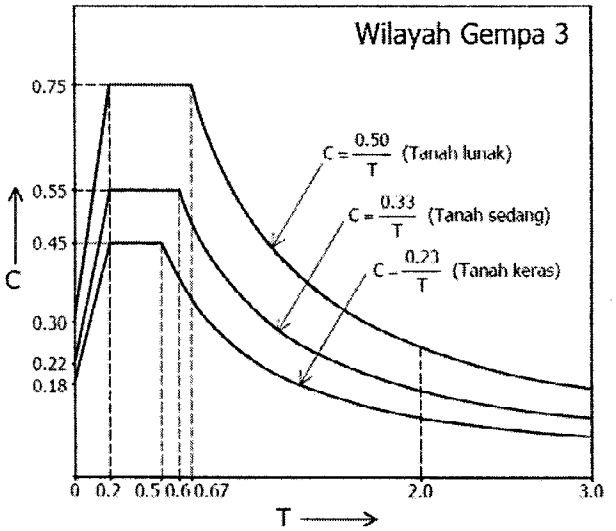
Percepatan puncak untuk Yogyakarta (Wilayah Gempa 3, Tanah Sedang) adalah

- Percepatan Puncak Batuan Dasar, A = 0,15
- Percepatan Maksimum Permukaan Tanah, A_0 = 0,23

Dari Tabel Spektrum respons gempa rencana (Tabel 6 – SNI-03-1726-2003) untuk Tanah Sedang di Yogyakarta, maka ditentukan :

Wilayah Gempa	Tanah Keras T_c = 0,5 det.		Tanah Sedang T_c = 0,6 det.		Tanah Lunak T_c = 1,0 det.	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95

T_c = 0,6 detik, A_m = 0,55 , A_r = 0,33



Respons Spectra Wilayah Gempa 3

4. Menentukan Faktor Keutamaan (I), Factor Reduksi (R) dan jenis konstruksi.

a.Untuk menentukan Faktor Keutamaan (I), digunakan Tabel 4.1 di atas (Tabel 1 SNI 03-1726-2002)

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Dari Tabel di atas I = 1,0

b. Untuk menentukan Faktor Reduksi (R), digunakan Tabel 4.2 sd Tabel 4.3 diatas (Tabel 2 dan 3- SNI 03-1726-2002)

Taraf kinerja struktur gedung	**μ**	**R , pers.(6)**
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktail penuh	5,3	8,5

Dalam Tabel 3 ditetapkan nilai μ_m yang dapat dikerahkan oleh beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung, berikut faktor reduksi maksimum R_m yang bersangkutan.

Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	F
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a.Baja	2,8	4,4	2,2
	b.Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	F
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing).	1. c.Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a.Baja	3,6	5,6	2,2
	b.Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	b. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3,6	6,0	2,8
	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	F
3.Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a.Baja	5,2	8,5	2,8
	b.Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2.Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a.Baja	2,7	4,5	2,8
	b.Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4.Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8

- Dari Denah dan potongan tergambar di atas , maka dapat disimpulkan sistem struktur di idealisasikan memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral akibat gempa dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.
- **SRPMM (Sistem rangka pemikul momen menengah),** yaitu sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas sedang dan dapat digunakan di zona 1 hingga zona 4.
- **SRPMK (Sistem rangka pemikul momen khusus),** yaitu system rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem

ini pada dasarmnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu di zona 5 hingga zona 6. Struktur harus direncanakan menggunakan system penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh.

Untuk Yogyakarta yang termasuk Daerah Wilayah Gempa 3, lebih tepat menggunakan perecanaan SRPMM, dengan R_{maks} = 5,5 (Tabel 3- SNI 03-1726-2002). Sedangkan dari (Tabel 2 SNI 03-1726-2002) Faktor Reduksi , R , untuk Daktilitas Parsial atau Sedang dapat diambil antara (2,4 ~ 8,0).

Maka diambil $R = R_{maks} = 5,5$

5. Menghitung Berat Struktur Total, Pusat Masa dan Eksentrisitas

Berat Per lantai bangunan dihitung Beban Mati ½ tinggi kolom diatas dan di baewah lantai yang bersangkutan dan Beban Hidup Rencana. Khusus Untuk Lantai Dasar atau Lantai 0 memikul beban mati ½ tinggi kolom di atas dan seluruh tinggi kolom di bawah Lantai Dasar tersebut.

Perhitungan Beban masing-masing Lantai

- **Beban Mati**

a. Lantai Atap

- pelat lantai (15 cm) = 0,15 x 2400 =360 kg/m²
- finishing = 40 kg/m²
- plafon = 20 kg/m²
- M/E = 20 kg/m²

Jumlah = 440 kg/m²

b. Lantai 2,3,4

- pelat lantai (15 cm)= 0,15 x 2400 = 360 kg/m²
- finishing = 100 kg/m²

- plafon = 20 kg/m²
- M/E = 20 kg/m²
  Jumlah = 500 kg/m²

c. Tangga

- Pelat tangga(15 cm)=0,15 x 2400 = 360 kg/m²
- trap tangga (10 cm) =0,10 x 2400 = 240 kg/m²
- finishing =100 kg/m²
- Railing = 50 kg/m²
  Jumlah =750 kg/m²

d. **Bordes**

- pelat bordes (15 cm) = 0,15 x 2400 = 360 kg/m²
- finishing = 65 kg/m²
- railing = 25 kg/m²

  Jumlah = 450 kg/m²

- **Beban Hidup**
  a. Lantai 2,3,4 (Kantor) = 250 kg/m²
  b. Atap = 100 kg/m²
  c. Tangga = 300 kg/m²

- Besarnya eksentrisitas (e) diukur dari letak Pusat Masa ke Pusat Kekakuan atau Pusat Rotasi tiap lantai gedung.
- Letak pusat kekakuan adalah tepat di sumbu x dan y, karena dimensi balok dan kolom sama dan penempatan denah balok dan kolom simetris untuk semua lantai.
- Letak pusat masa lantai Atap adalah tepat disumbu x-y, karena denah gedung yang simetris dan letak beban bangunan dengan besar yang sama pada setiap bagian seperti terlihat pada Tabel Perhitungan Letak Pusat Masa dan Berat Total Diafragma Lantai Atap berikut ini.
- Pada lantai ke-2, ke-3 dan ke-4 struktur gedung letak pusat masa bergeser ke arah sumbu x dan y positif, karena letak beban hidup yang lebih besar terdapat di

bagian sumbu x dan y positif, seperti terlihat pada Tabel Perhitungan Letak Pusat Masa dan Berat Total Diafragma Lantai Ke-2, ke-3 dan ke-4 berikut ini.

2. PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN BERAT TOTAL LANTAI 4

Jenis bangunan : KANTOR

No	Jenis Struktur	Berat (P) (kg)			Pusat Massa x (m)	Pusat Massa y (m)	P.x (kg.m)	P.y (kg.m)
1	Balok lantai 4 as-A	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	0.00	124,416.00	0.00
2	Balok lantai 4 as-B	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	5.00	124,416.00	51,840.00
3	Balok lantai 4 as-C	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	10.00	124,416.00	103,680.00
4	Balok lantai 4 as-D	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	15.00	124,416.00	155,520.00
5	Balok lantai 4 as-E	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	20.00	124,416.00	207,360.00
6	Balok lantai 4 as-I	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	0.00	10.00	0.00	86,400.00
7	Balok lantai 4 as-II	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	6.00	10.00	51,840.00	86,400.00
8	Balok lantai 4 as-III	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	12.00	10.00	103,680.00	86,400.00
9	Balok lantai 4 as-IV	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	18.00	10.00	155,520.00	86,400.00
10	Balok lantai 4 as-V	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	24.00	10.00	207,360.00	86,400.00
11	Kolom lantai 4 as I-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Kolom lantai 4 as II-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	0.00	20,736.00	0.00
13	Kolom lantai 4 as III-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	0.00	41,472.00	0.00
14	Kolom lantai 4 as IV-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	0.00	62,208.00	0.00
15	Kolom lantai 4 as V-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	0.00	82,944.00	0.00
16	Kolom lantai 4 as I-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	5.00	0.00	17,280.00
17	Kolom lantai 4 as II-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	5.00	20,736.00	17,280.00
18	Kolom lantai 4 as III-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	5.00	41,472.00	17,280.00
19	Kolom lantai 4 as IV-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	5.00	62,208.00	17,280.00
20	Kolom lantai 4 as V-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	5.00	82,944.00	17,280.00
21	Kolom lantai 4 as I-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	10.00	0.00	34,560.00
22	Kolom lantai 4 as II-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	10.00	20,736.00	34,560.00
23	Kolom lantai 4 as III-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	10.00	41,472.00	34,560.00
24	Kolom lantai 4 as IV-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	10.00	62,208.00	34,560.00
25	Kolom lantai 4 as V-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	10.00	82,944.00	34,560.00
26	Kolom lantai 4 as I-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	15.00	0.00	51,840.00
27	Kolom lantai 4 as II-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	15.00	20,736.00	51,840.00
28	Kolom lantai 4 as III-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	15.00	41,472.00	51,840.00
29	Kolom lantai 4 as IV-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	15.00	62,208.00	51,840.00
30	Kolom lantai 4 as V-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	15.00	82,944.00	51,840.00
31	Kolom lantai 4 as I-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	20.00	0.00	69,120.00
32	Kolom lantai 4 as II-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	20.00	20,736.00	69,120.00
33	Kolom lantai 4 as III-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	20.00	41,472.00	69,120.00
34	Kolom lantai 4 as IV-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	20.00	62,208.00	69,120.00
35	Kolom lantai 4 as V-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	20.00	82,944.00	69,120.00
36	DL pelat lantai 4 (1)	5 x 24 x 500	=	60,000.00	12.00	2.50	720,000.00	150,000.00
37	DL pelat lantai 4 (2)	5 x 18 x 500	=	45,000.00	15.00	7.50	675,000.00	337,500.00
38	DL pelat lantai 4 (3)	10 x 24 x 500	=	120,000.00	12.00	15.00	1,440,000.00	1,800,000.00
39	LL pelat lantai 4 (1)	5 x 24 x 250 x 0,3	=	9,000.00	12.00	2.50	108,000.00	22,500.00
40	LL pelat lantai 4 (2)	5 x 18 x 250 x 0,3	=	6,750.00	15.00	7.50	101,250.00	50,625.00
41	LL pelat lantai 4 (3)	10 x 24 x 250 x 0,3	=	18,000.00	12.00	15.00	216,000.00	270,000.00
42	Dinding as A	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	0.00	288,000.00	0.00
43	Dinding as B	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	5.00	288,000.00	120,000.00
44	Dinding as C	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	10.00	288,000.00	240,000.00
45	Dinding as D	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	15.00	288,000.00	360,000.00
46	Dinding as E	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	20.00	288,000.00	480,000.00
47	Dinding as I	20 x 250 x 4	=	20,000.00	0.00	10.00	0.00	200,000.00
48	Dinding as II (1)	5 x 250 x 4	=	5,000.00	6.00	2.50	30,000.00	12,500.00
49	Dinding as II (2)	10 x 250 x 4	=	10,000.00	6.00	15.00	60,000.00	150,000.00
50	Dinding as III	20 x 250 x 4	=	20,000.00	12.00	10.00	240,000.00	200,000.00
51	Dinding as IV	20 x 250 x 4	=	20,000.00	18.00	10.00	360,000.00	200,000.00
52	Dinding as IV	20 x 250 x 4	=	20,000.00	24.00	10.00	480,000.00	200,000.00
53	DL tangga	2320 x 2,5	=	5,800.00	6.00	6.25	34,800.00	36,250.00
54	LL tangga	970 x 2,5 x 0,5	=	1,212.50	6.00	6.25	7,275.00	7,578.13
55	Dinding railing	2,5 x 250 x 1	=	625.00	6.00	8.75	3,750.00	5,468.75

ΣP = 662,827.50 kg

$\Sigma P.x$ = 8,093,355.00 kg.m

$\Sigma P.y$ = 6,656,821.88 kg.m

$X = \frac{\Sigma P.x}{\Sigma P}$ = 12.21 m

$Y = \frac{\Sigma P.y}{\Sigma P}$ = 10.04 m

Tabel 4.7 Perhitungan Pusat Massa dan Berat Total Lantai 4

3. PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN BERAT TOTAL LANTAI 3

Jenis bangunan : KANTOR

No	Jenis Struktur	Berat (P) (kg)			Pusat Massa x (m)	Pusat Massa y (m)	P.x (kg.m)	P.y (kg.m)
1	Balok lantai 3 as-A	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	0.00	124,416.00	0.00
2	Balok lantai 3 as-B	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	5.00	124,416.00	51,840.00
3	Balok lantai 3 as-C	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	10.00	124,416.00	103,680.00
4	Balok lantai 3 as-D	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	15.00	124,416.00	155,520.00
5	Balok lantai 3 as-E	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	20.00	124,416.00	207,360.00
6	Balok lantai 3 as-I	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	0.00	10.00	0.00	86,400.00
7	Balok lantai 3 as-II	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	6.00	10.00	51,840.00	86,400.00
8	Balok lantai 3 as-III	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	12.00	10.00	103,680.00	86,400.00
9	Balok lantai 3 as-IV	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	18.00	10.00	155,520.00	86,400.00
10	Balok lantai 3 as-V	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	24.00	10.00	207,360.00	86,400.00
11	Kolom lantai 3 as I-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Kolom lantai 3 as II-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	0.00	20,736.00	0.00
13	Kolom lantai 3 as III-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	0.00	41,472.00	0.00
14	Kolom lantai 3 as IV-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	0.00	62,208.00	0.00
15	Kolom lantai 3 as V-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	0.00	82,944.00	0.00
16	Kolom lantai 3 as I-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	5.00	0.00	17,280.00
17	Kolom lantai 3 as II-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	5.00	20,736.00	17,280.00
18	Kolom lantai 3 as III-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	5.00	41,472.00	17,280.00
19	Kolom lantai 3 as IV-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	5.00	62,208.00	17,280.00
20	Kolom lantai 3 as V-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	5.00	82,944.00	17,280.00
21	Kolom lantai 3 as I-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	10.00	0.00	34,560.00
22	Kolom lantai 3 as II-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	10.00	20,736.00	34,560.00
23	Kolom lantai 3 as III-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	10.00	41,472.00	34,560.00
24	Kolom lantai 3 as IV-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	10.00	62,208.00	34,560.00
25	Kolom lantai 3 as V-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	10.00	82,944.00	34,560.00
26	Kolom lantai 3 as I-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	15.00	0.00	51,840.00
27	Kolom lantai 3 as II-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	15.00	20,736.00	51,840.00
28	Kolom lantai 3 as III-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	15.00	41,472.00	51,840.00
29	Kolom lantai 3 as IV-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	15.00	62,208.00	51,840.00
30	Kolom lantai 3 as V-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	15.00	82,944.00	51,840.00
31	Kolom lantai 3 as I-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	20.00	0.00	69,120.00
32	Kolom lantai 3 as II-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	20.00	20,736.00	69,120.00
33	Kolom lantai 3 as III-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	20.00	41,472.00	69,120.00
34	Kolom lantai 3 as IV-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	20.00	62,208.00	69,120.00
35	Kolom lantai 3 as V-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	20.00	82,944.00	69,120.00
36	DL pelat lantai 3 (1)	5 x 24 x 500	=	60,000.00	12.00	2.50	720,000.00	150,000.00
37	DL pelat lantai 3 (2)	5 x 18 x 500	=	45,000.00	15.00	7.50	675,000.00	337,500.00
38	DL pelat lantai 3 (3)	10 x 24 x 500	=	120,000.00	12.00	15.00	1,440,000.00	1,800,000.00
39	LL pelat lantai 3 (1)	5 x 24 x 250 x 0,3	=	9,000.00	12.00	2.50	108,000.00	22,500.00
40	LL pelat lantai 3 (2)	5 x 18 x 250 x 0,3	=	6,750.00	15.00	7.50	101,250.00	50,625.00
41	LL pelat lantai 3 (3)	10 x 24 x 250 x 0,3	=	18,000.00	12.00	15.00	216,000.00	270,000.00
42	Dinding as A	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	0.00	288,000.00	0.00
43	Dinding as B	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	5.00	288,000.00	120,000.00
44	Dinding as C	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	10.00	288,000.00	240,000.00
45	Dinding as D	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	15.00	288,000.00	360,000.00
46	Dinding as E	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	20.00	288,000.00	480,000.00
47	Dinding as I	20 x 250 x 4	=	20,000.00	0.00	10.00	0.00	200,000.00
48	Dinding as II (1)	5 x 250 x 4	=	5,000.00	6.00	2.50	30,000.00	12,500.00
49	Dinding as II (2)	10 x 250 x 4	=	10,000.00	6.00	15.00	60,000.00	150,000.00
50	Dinding as III	20 x 250 x 4	=	20,000.00	12.00	10.00	240,000.00	200,000.00
51	Dinding as IV	20 x 250 x 4	=	20,000.00	18.00	10.00	360,000.00	200,000.00
52	Dinding as IV	20 x 250 x 4	=	20,000.00	24.00	10.00	480,000.00	200,000.00
53	DL tangga	2320 x 5	=	11,600.00	6.00	7.50	69,600.00	87,000.00
54	LL tangga	970 x 5 x 0,5	=	2,425.00	6.00	7.50	14,550.00	18,187.50
55	Dinding railing	0	=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$\sum P$ = 669,215.00 kg

$\sum P.x$ = 8,131,680.00 kg.m

$\sum P.y$ = 6,712,712.50 kg.m

$X = \frac{\sum P.x}{\sum P} = 12.15$ m

$Y = \frac{\sum y}{\sum P} = 10.03$ m

Tabel 4.8 Perhitungan Pusat Massa dan Berat Total Lantai 3

4. PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN BERAT TOTAL LANTAI 2

Jenis bangunan : KANTOR

No	Jenis Struktur	Berat (P) (kg)			Pusat Massa x (m)	Pusat Massa y (m)	P.x (kg.m)	P.y (kg.m)
1	Balok lantai 2 as-A	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	0.00	124,416.00	0.00
2	Balok lantai 2 as-B	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	5.00	124,416.00	51,840.00
3	Balok lantai 2 as-C	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	10.00	124,416.00	103,680.00
4	Balok lantai 2 as-D	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	15.00	124,416.00	155,520.00
5	Balok lantai 2 as-E	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	10,368	12.00	20.00	124,416.00	207,360.00
6	Balok lantai 2 as-I	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	0.00	10.00	0.00	86,400.00
7	Balok lantai 2 as-II	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	6.00	10.00	51,840.00	86,400.00
8	Balok lantai 2 as-III	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	12.00	10.00	103,680.00	86,400.00
9	Balok lantai 2 as-IV	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	18.00	10.00	155,520.00	86,400.00
10	Balok lantai 2 as-V	0,3 x 0,6 x 2400 x 24	=	8,640	24.00	10.00	207,360.00	86,400.00
11	Kolom lantai 2 as I-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Kolom lantai 2 as II-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	0.00	20,736.00	0.00
13	Kolom lantai 2 as III-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	0.00	41,472.00	0.00
14	Kolom lantai 2 as IV-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	0.00	62,208.00	0.00
15	Kolom lantai 2 as V-A	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	0.00	82,944.00	0.00
16	Kolom lantai 2 as I-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	5.00	0.00	17,280.00
17	Kolom lantai 2 as II-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	5.00	20,736.00	17,280.00
18	Kolom lantai 2 as III-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	5.00	41,472.00	17,280.00
19	Kolom lantai 2 as IV-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	5.00	62,208.00	17,280.00
20	Kolom lantai 2 as V-B	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	5.00	82,944.00	17,280.00
21	Kolom lantai 2 as I-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	10.00	0.00	34,560.00
22	Kolom lantai 2 as II-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	10.00	20,736.00	34,560.00
23	Kolom lantai 2 as III-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	10.00	41,472.00	34,560.00
24	Kolom lantai 2 as IV-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	10.00	62,208.00	34,560.00
25	Kolom lantai 2 as V-C	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	10.00	82,944.00	34,560.00
26	Kolom lantai 2 as I-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	15.00	0.00	51,840.00
27	Kolom lantai 2 as II-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	15.00	20,736.00	51,840.00
28	Kolom lantai 2 as III-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	15.00	41,472.00	51,840.00
29	Kolom lantai 2 as IV-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	15.00	62,208.00	51,840.00
30	Kolom lantai 2 as V-D	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	15.00	82,944.00	51,840.00
31	Kolom lantai 2 as I-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	0.00	20.00	0.00	69,120.00
32	Kolom lantai 2 as II-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	6.00	20.00	20,736.00	69,120.00
33	Kolom lantai 2 as III-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	12.00	20.00	41,472.00	69,120.00
34	Kolom lantai 2 as IV-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	18.00	20.00	62,208.00	69,120.00
35	Kolom lantai 2 as V-E	0,6 x 0,6 x 2400 x 4	=	3,456	24.00	20.00	82,944.00	69,120.00
36	DL pelat lantai 2 (1)	5 x 24 x 500	=	60,000.00	12.00	2.50	720,000.00	150,000.00
37	DL pelat lantai 2 (2)	5 x 18 x 500	=	45,000.00	15.00	7.50	675,000.00	337,500.00
38	DL pelat lantai 2 (3)	10 x 24 x 500	=	120,000.00	12.00	15.00	1,440,000.00	1,800,000.00
39	LL pelat lantai 2 (1)	5 x 24 x 250 x 0,3	=	9,000.00	12.00	2.50	108,000.00	22,500.00
40	LL pelat lantai 2 (2)	5 x 18 x 250 x 0,3	=	6,750.00	15.00	7.50	101,250.00	50,625.00
41	LL pelat lantai 2 (3)	10 x 24 x 250 x 0,3	=	18,000.00	12.00	15.00	216,000.00	270,000.00
42	Dinding as A	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	0.00	288,000.00	0.00
43	Dinding as B	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	5.00	288,000.00	120,000.00
44	Dinding as C	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	10.00	288,000.00	240,000.00
45	Dinding as D	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	15.00	288,000.00	360,000.00
46	Dinding as E	24 x 250 x 4	=	24,000.00	12.00	20.00	288,000.00	480,000.00
47	Dinding as I	20 x 250 x 4	=	20,000.00	0.00	10.00	0.00	200,000.00
48	Dinding as II (1)	5 x 250 x 4	=	5,000.00	6.00	2.50	30,000.00	12,500.00
49	Dinding as II (2)	10 x 250 x 4	=	10,000.00	6.00	15.00	60,000.00	150,000.00
50	Dinding as III	20 x 250 x 4	=	20,000.00	12.00	10.00	240,000.00	200,000.00
51	Dinding as IV	20 x 250 x 4	=	20,000.00	18.00	10.00	360,000.00	200,000.00
52	Dinding as IV	20 x 250 x 4	=	20,000.00	24.00	10.00	480,000.00	200,000.00
53	DL tangga	2320 x 5	=	11,600.00	6.00	7.50	69,600.00	87,000.00
54	LL tangga	970 x 5 x 0,5	=	2,425.00	6.00	7.50	14,550.00	18,187.50
55	Dinding railing	0	=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$\sum P$ = 669,215.00 kg

$\sum P.x$ = 8,131,680.00 kg.m

$\sum P.y$ = 6,712,712.50 kg.m

$X = \frac{\sum P.x}{\sum P} = 12.15$ m

$Y = \frac{\sum P.y}{\sum P} = 10.03$ m

Tabel 4.9 Perhitungan Pusat Massa dan Berat Total Lantai 2

Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana e_d. Apabila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b, maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut :

untuk $0 < e \leq 0{,}3\,b$:

$e_d = 1{,}5\,e + 0{,}05\,b$ dari (4.14)

$e_d = e - 0{,}05\,b$ dari (4.15)

dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau;

untuk $e > 0{,}3\,b$:

$e_d = 1{,}33\,e + 0{,}1\,b$ dari Pers. (4.16)

$e_d = 1{,}17\,e$ dari Pers. (4.17)

dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau.

Arah x, nilai b= 20 m dan arah y,nilai b = 24 m, maka besarnya eksentrisitas dihitung seperti Tabel 4.10 berikut ini

Tabel 4.10 Perhitungan Eksentrisitas

Lt. ke-	Eksentritas		Eksentritas Rencana (e_d)	
	e_x (m)	e_y (m)	e_{dx} (m)	e_{dy} (m)
Atap	0,00< 0,3.(20)	0.00<0,03(24)	0.05x20 = 1.0	0.05x24 =1.2
4	0,21< 0,3.(20)	0.04<0,03(24)	1,5x0,21+1,0=1,315	1,5x0,04 + 1,2 =1, 260
3	0,15< 0,3.(20)	0.03<0,03(24)	1,5x0,15+1,0=1,225	1,5x0,03 + 1,2 =1, 245
2	0,15< 0,3.(20)	0.03<0,03(24)	1,5x0,15+1,0=1,225	1,5x0,03 + 1,2 =1, 245

6. Menentukan Pembebanan dan Arah Pembebanan

- Arah Y (utama), L= 24 m. pembebanan efektif 100%
- Arah X , B= 20 m pembebanan efektif hanya 30%.

7. Menghitung Berat Struktur per Lantai (W_i) dan tinggi masing-masing lantai (z_i), serta menghitung $\Sigma(W_i.z_i)$

a. Tinggi masing-masing lantai (z_i) diukur dari penjepitan lateral.

b. W_i merupakan hasil hitungan langkah/ pada butir 4 di atas

Tabel 4.11 Perhitungan Berat Strukturper Lantai Wi dan Wi.zi

Lantai ke	W_i	Z_i	$W_i.Z_i$
	(kN)	(m)	(kN.m)
Atap	4.580,00	16,00	73.280,00
4	6.628,28	12,00	79.539,30
3	6.692,15	8,00	53.537,20
2	6.692,15	4,00	26.768,60
	24.592,58		233.125,10

8. Menghitung Waktu Getar Alami (T) dan Faktor Respons Gempa (C).

Waktu Getar Alami Fundamental (T_1)), seperti yang diuraikan di atas.

$T_1 < \zeta.H^{3/4}$ dari Persamaan (4.11)

di mana koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel 4.6.

Wilayah Gempa	ζ
Sedang dan ringan : Rangka Baja	0,119
Sedang dan ringan : Rangka Beton dan RBE	0,102
Sedang dan ringan : Bangunan lainnya	0,068
B e r a t : Rangka Baja	0,111
B e r a t : Rangka Beton dan RBE	0,095
B e r a t : Bangunan lainnya	0,063

Jadi $T_1 = 0.095.16^{3/4} = 0,76$ detik $> T_c = 0,6$ detik dan karena sistem sama antara Arah-X dan Arah-Y, maka $C_x = C_y = A_r / T_1 = 0,33/0,76 = 0,434$

9. Menghitung Gaya Geser Dasar Nominal (V),

Ditentukan berdasar Pers 4.12 di atas, $V = \frac{C_1 I}{R} W_t$

$$V_x = \frac{C_x I}{R} W_t = \frac{0,434.1,0}{5,5} 24.592,58 = 1.940,578 \text{ kN}$$

$$V_y = \frac{C_y I}{R} W_t = \frac{0,434.1,0}{5,5} 24.592,58 = 1.940,578 \text{ kN}$$

10. Menghitung beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i pada pusat massa lantai tingkat ke-i.

Ditentukan berdasar Pers 4.13 di atas $F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i z_i} V$

Tabel 4.11 Perhitungan Momen Torsi Lantai

Lt. Ke	$W_i.Z_i$ (kN.m)	$F_x = F_y$ (kN)	$F_{x_kum}=F_{y_Kum}$ (kN)	e_{dx} m	e_{dy} (m)	$M_{torsi}= V_y.e_{dx} + V_y.e_{dy}$ (k.Nm)
Atap	73280,0	610,00	609,9968	1	1,2	878,3954
4	79539,3	662,10	1272,097	1,315	1,26	2655,75
3	53537,2	445,65	1717,751	1,225	1,245	3261,633
2	26768,6	222,82	1940,578	1,225	1,245	3684,732
	233.125,1					

Tabel 4.12 Perhitungan Beban Gempa Per Gempa Per Node

Lt. Ke	F_{X_kum} Tgk lurus Arah Utama, 30%			F_{Y_kum}, Arah Utama 100%			Arah -z	
	F_{x_kum} (kN)	Jml Node	per Node (kN)	F_{y_kum} (kN)	F_{y_kum} Jml Node	per Node (kN)	M_{torsi}	Per Node (kN.m)
Atap	183.00	25	7,32	610,00	25	24,40	878,40	35,14
4	381.63	25	15,27	1272,10	25	50,88	2655,75	106,23
3	515.33	25	20,61	1717,75	25	68,71	3261,63	130,47
2	582.17	25	23,29	1940,58	25	77,62	3684,73	147,39

Tabel 4.13 Perhitungan Beban Gempa Per Portal

Lantai ke	F_{X_kum} Tgk lurus Arah Utama, 30%			F_{Y_kum}, Arah Utama 100%		
	F_{X_kum} (kN)	Jml Node	Per Portal (kN)	F_{Y_kum} (kN)	Jml Node	Per Portal (kN)
Atap	183.00	5	36.60	610,00	5	122.00
4	381.63	5	76.33	1272.10	5	254.42
3	515.33	5	103.07	1717.75	5	343.55
2	582.17	5	116.43	1940.58	5	388.12

11. Kontrol rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa H/L

- $H/L = 16/24 = 0,67 < 3,0$
- $H/B = 16/20 = 0,80 < 3,0$

Tidak perlu koreksi Nilai gaya lateral di lantai Atap

12. Kontrol Waktu Getar Alami dengan cara Rayleigh

a. Menghitung $T_{Raleigh}$ berdasar Pers. 4.14
b. Jika $[T-T_{Raleigh}] > 20\%$, maka koreksi beban-beban

gempa nominal statik ekuivalen F_i

c. Jika $[T\text{-}T_{Raleigh}] < 20\%$, maka tidak perlu ada koreksi beban-beban gempa]

Kontrol Waktu Getar dengan Cara Rayleigh,

Rumus Rayleigh , $T = 6{,}3\sqrt{\frac{\sum W_i d_i^2}{q\sum F_i.d_i}}$,

dengan d_i = simpangan horizontal lantai

Rumus kekakuan,

$F = K.\Delta$, maka $\Delta = \frac{F}{K}$ atau $d_i = \frac{F_i}{K_i}$

Dengan :

F_i = Gaya Gempa pada Lantai ke i.
K_i = Kekakuam gabunhgan Lantai ke i. =

$$\sum k_{kolom_lantai} = \sum \frac{12.EI}{h^3}$$

Menghitung kekakuan kolom lantai K_i.

$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{20} = 21019{,}04$ MPa
$= 2{,}1019.x\ 10^3$ MPa $= 2{,}1019$ KN/mm^2

$I_{semua\ kolom} = \frac{1}{12}.600.600^3 = 1{,}08x10^{10}\ mm^4$,

Kolom Lantai Dasar sampai dengan Atap

$K_{per_kolm} = \frac{12x2{,}1019x1{,}08x10^{10}}{4000^3} = 4{,}2563475$ kN/mm

$K_{per_Lantai} = 25.(4{,}2563475) = 106{,}4087$kN/mm

Tabel 4.14 Waktu Getar Cara Rayleigh Arah-X = Arah-Y

Lantai	$F_{i\ kum}$	K_i	d_i	$d_{i\ kmlt}$	W_i	$W_i.d_i^2$	$F_i.d_i$
	(kN)	(kN/mm)	(mm)	(mm)	(kN)	kN.mm^2	kN.mm
Atap	609,9968	106,4087	5,73	5,73	4580,00	150510,33	3496,86
4	1272,097	106,4087	11,95	17,69	6628,28	2073619,65	22500,10
3	1717,751	106,4087	16,14	33,83	6692,15	7659121,29	58112,14
2	1940,578	106,4087	18,24	52,07	6692,15	18142503,17	101040,82
					Total	28025754,44	185149,91

Jadi $T_{Rayleigh} = 6{,}3\sqrt{\frac{2802575{,}44}{9800x185149{,}91}}$ dtk $= 0{,}78$ detik

$[T_1\text{-}T_{Rayleigh}] = [0.76 - 0{,}78] = 0{,}02$ detik $= 2{,}6\%\ T_1$

(Tidak perlu koreksi perhitungan beban gempa F_i)

13. Kontrol Kinerja Struktur Gedung

a. Kinerja Batas Layan, simpangan antar-tingkat maksimum (∂_m) harus memenuhi persyaratan berikut

$\partial_m \le \frac{0{,}03}{R} H_{tingkat}$ ..... dari Persamaan (4.23)

$\partial_m \le (0{,}03/5.5)\ .4000$ mm $= 21{,}8$ mm

$\partial_m \le 30\ mm$ ..... dari Persamaan (4.24)

Diambil $\partial_m = 21{,}8$ mm

Tabel 4.15. Kontrol Kinerja Batas Layan Struktur

Lantai	d_i	δ_m	Kontrol
ke	(mm)	(mm)	
Atap	0.34	21.82	$d_i < \delta_m$ (Aman)
4	1.06	21.82	$d_i < \delta_m$ (Aman)
3	2.03	21.82	$d_i < \delta_m$ (Aman)
2	3.12	21.82	$d_i < \delta_m$ (Aman)

b. Kinneja batas ultimit,
δm (0,7 R) < 0,02 H
δm (0,7 x 5,5) < 0,02 x 4000
3,85 .δm < 8 mm

Tabel 4.16 Kontrol Kinerja Batas Ultimit Struktur

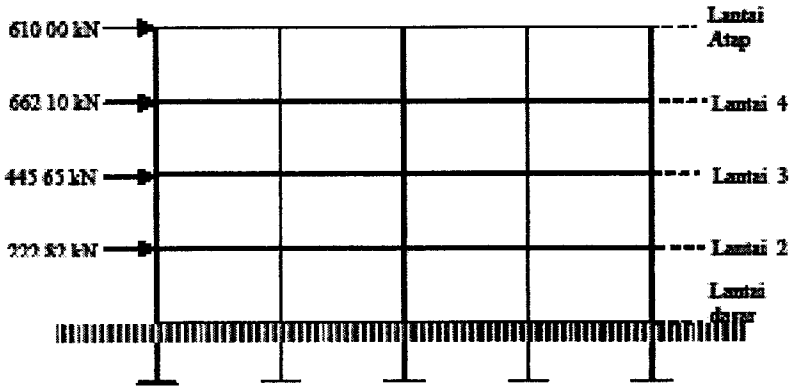
Lantai	d_i	$d_i . \xi$	$0{,}02.H_{tingkat}$	Kontrol
ke	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	0.34	1.32	8.00	$d_i . \xi < 0{,}02 . H_{tingkat}$
4	1.06	4.09	8.00	$d_i . \xi < 0{,}02 . H_{tingkat}$
3	2.03	7.81	8.00	$d_i . \xi < 0{,}02 . H_{tingkat}$
2	3.12	12.03	8.00	$d_i . \xi > 0{,}02 . H_{tingkat}$
			Total	1,793

Catatan :

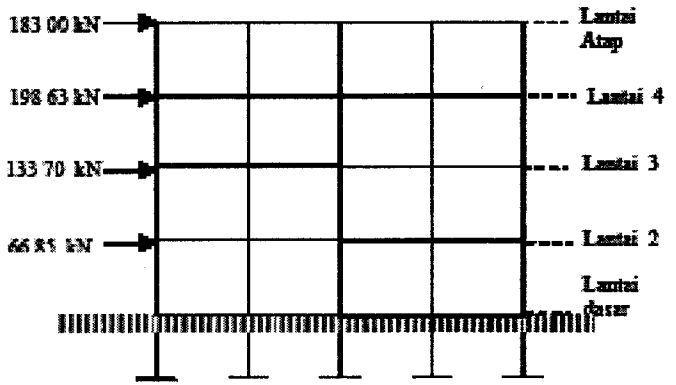
1. Pada keadaan batas(ultimit), dan pada percepatan puncak dimungkinkan terjai retak rambut di kolom lantai dasar (daktilitas terbatas)
2. Hal ini dimungkinkan, dengan persyaratan kolom dirancang maih cukup mampu menahan kombinasi pembebanan antara Beban Tetap dan Beban Gempa.
3. Jika dikehendaki tidak terjadi retak beton akibat beban

berulang akibat gemapa, maka kekakukan kolom di atas lantai dasar diperkaku dengan cara :

- Meningkatkan mutu bahan (f'c ditingkatkan > 20 MPa)
- Memperbesar dimensi kolom
- Memperkuat dengan dinding geser di daerah *void*/ tangga
- Memasang *bracing* di daerah *core/void*/tangga



Gambar 4.16 Pembebanan Portal Arah X (As A-B-C-D-E)



Gambar 4.17 Pembebanan Portal Arah Y (As 1-2-3-4-=5)

Bab 5

Rangkuman Sistem Struktural Bangunan Tinggi Penahan Beban Gempa(berdasar SNI - 03 - 1726 – 2002 dan SNI 03-2847-2002)

Bab 5 ini :

- Prinsip Rancangan Secara Umum
- Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa
- Sistem Struktur Dinding Geser
- Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen

5.1.Prinsip Rancangan Secara Umum

Dalam bab sebelumnya telah dibahas bahwa bangunan tahan gempa harus bisa menahan tekanan horizontal dari arah mana pun, berikut beberapa hal yang dapat di intisarikan dari bahasan tersebut.

5.1.1 Prinsip Beban Gempa

Gempa menyebabkan getaran pada lapisan tanah. Getaran pada lapisan tanah dapat menimbulkan Beban Gempayang bekerja beban pada elemen bangunan, selain Beban Tetap yang telah ada (Exsisiting Load: Beban Hidupdan Beban Mati).

Tingkat keparahan beban gempa tergantung pada lokasi bangunan sesuai Wilayah Gempa berdasar (SNI-03-1726-

2002), dan arahpembebanan gempa cenderung horizontal (walaupun tetap adakomponen vertical), serta akan datang bersiklus.

Bangunan yang tak terlalu berat, dan terkoneksi dengan baik dan proporsional baikdengan fondasinya akan lebih tahan menahan beban gempa.Bangunan yang telah memenuhi semua syaratbangunan tahan gempa belum tentu dapat bertahan melawan tsunami.

5.1.2 Konsep Perancangan Beban Gempa

Beban gempa merupakan fungsi dari:

1. Zona Wilayah Gempa dan jarak ke pusat gempa.
2. Berat jenis bangunan
3. Masa getaran bangunan – biasanya ditentukan oleh ketinggian bangunan atau elemen yang digunakan untuk menahan beban.
4. Bahan-bahan fondasi (tanah atau batu-batuan).
5. Perhitungan tipe bangunan (bahan, tingkat *ductility,* peredaman getaran).
6. Kategori Bangunan (Faktor Resiko dan Keutamaan)
7. Faktor-faktor khusus.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perancangan beban gempa:

1. Bangunan kaku (*rigid*) atau bahan kaku seperti ***rigid wall*** (tembok kokoh) akan lebih mendistribusi bebandaripada elemen-elemen yang lebih lentur seperti rangka penahan momen.
2. Bahan berat seperti genteng beton akan menyebabkan beban lebih besar daripada bahan yang lebih ringan.
3. Zona Wilayah Gempa dan jarak bangunan dari pusat gempa sangat berpengaruh pada perancangan beban gempa.
4. Tipe lapis dasar bangunan ***(Subgrade type)***, tanah dasar,

sedang dan keras (bebatuan/*rock* dll) berpengaruh dalam perhitungan beban gempa.

5. Bahan yang lemah dan rapuh/getas, sambungan yang kurang baik, dan kesalahan dalam perencanaan dapat mengurangi kemampuan bangunandalam menahan beban horizontal akibat gempa.
6. Pada saat terjadi gempa sedang hingga besar, kerusakan pun diijinkandengan syarat tidak runtuh walaupun mengalami kerusakan.Sangat tidak praktis dan mahal perancangan bangunan yang tidak akan rusak sedikitpun saat gempa sedang hingga besar. Hal ini sanagat terkait dengan daktilitas bangunan.

5.1.3 Perancangan Daktilitas

*Daktilitas*adalah kemampuan sebuah bangunan untuk menahan dan mengurangi pengaruh beban yang berulang-ulang setelah tekanan pertama, artinya bangunan tersebut dapat menahan beban gravitasi tanpa mengalami keruntuhan.

- Perancangan daktilitilitas harus menghasilkan kepastian bahwa komponen struktur pembentuk bangunan harus disusun dengan baik untuk menghindari keruntuhan akibat pembebanan.
- Tabel daktiltas SNI-03-1726-2002, memperbolehkan digunakannya beban seismis yang lebih rendah pada saat merancang struktur daktaildibanding beban seismis yang boleh digunakan pada bangunan elastis.
- Bangunan satu dan dua lantai biasanya dirancang sebagai bangunan elastis.
- Perancangan daktailsebaiknya diaplikasikan pada semua jenis bangunan, termasuk bangunan elastis. Bangunan yang memiliki daktilitas cenderung akan bertahan lebih lama daripada bangunan biasa.

(Catatan: bahan atau unsur yang rapuh bisa hancur tiba-tiba jika sudah melewati batas elastisitasnya.)

5.2 Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa

Pada bangunan tinggi tahan gempa umumnya gaya-gaya pada kolom cukup besar untuk menahan beban gempa yang terjadi sehingga umumnya perlu menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, gaya aksial yang timbul akibat beban gempa.Dinding geser yang kaku pada bangunan, akan menyerap sebagian besar beban gempa.

Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifatnya tersebut digabungkan. Dari gabungan keduanya diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis.

Kerja sama ini dapat dibedakan menjadi beberapa macam sistem struktur yang tercantum dalam Tabel 3 - SNI 03-1726-2002,sebagai berikut :

1. Sistem dinding penumpu yaitu sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing. Sistem Dinding Penumpu, yang bisa diklasifikasikan sebagai berikut,
   a. DSBB (Dinding Struktural Beton Biasa)
   b. DSBK (Dinding Struktural Beton Khusus)
2. Sistem Rangka Bresing (SRB), yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut,
   a. SRBKB (Sistem Rangka Bresing Konsentris Biasa)
   b. SRBKK (Sistem Rangka Bresing Konsentris Khusus)

c. SRBE (Sistem Rangka Eksentris)

Sistem rangka gedung ini pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), yang dapat diklasifikasikan, sebagai berkut,
   a. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)
   b. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)
   c. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Beban Khusus)

   Sistem rangka pemikul momen ini pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.
4. Sistem ganda terdiri dari:
   a. Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi;
   b. Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral;
   c. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi /sistem ganda.
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever:
   Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka
7. Subsistem tunggal

Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan

Gempa yang bersifat *unpredictable accident* menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam mendisain

struktur berteknologi modern. Pemahaman akan peraturan gempa dan beton yang baru yaitu SNI-03-1726-2002 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung) dan SNI- 03-2847-2002 (Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan dengan gedung) yang telah direvisi dengan detailing menengah atau khusus mengacu dengan perkembangan teknologi bangunan saat ini.

Semua elemen yang dibutuhkan untuk menahan beban dari dua arahorthogonal dan banyak elemenyang dibutuhkan harus cukup untuk setiap arah dan sebaiknya tersebarmenutupi lebar dan tinggi gedung.

5.3 Sistem Struktur Dinding Geser

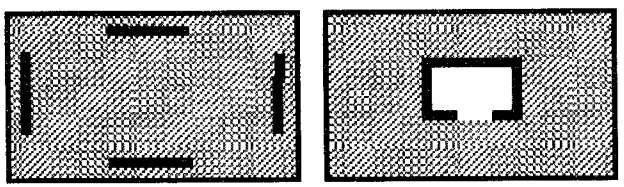
Berdasarkan **SNI 03-1726-2002**, pengertian dinding geser beton bertulang kantilever adalah suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya, dimana nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan. Dinding geser kantilever termasuk dalam *flexural wall* dimana rasio tinggi dan lebar dinding, $H_W/L_W \geq 2$ dan lebarnya tidak boleh kurang dari 1,5 m.

Oleh karena itu dinding geser atau shear wall selain menahan geser (*shear force*) juga menahan lentur. Panjang horisontal dinding geser biasanya 3-6 meter, dengan ketebalan kurang lebih 30 cm. Beberapa dinding geser dihubungkan oleh plat lantai beton (sebagai diafragma) membentuk suatu sistem struktur 3 dimensi. Dinding geser pada umumnya bersifat kaku, sehingga deformasi (lendutan) horizontal menjadi kecil.Kerusakan pada elemen non struktural (dinding pembagi ruang, elemen fasad, langit-langit) baru terjadi pada gempa yang relatif kuat.

Berdasarkan **SNI 03-2847-2002,** suatu dinding dikategorikan kedalam dinding geser jika gaya geser rencana melebihi $\frac{1}{12}A_{cv}\sqrt{f'c}$, (dimana A_{cv} adalah luas brutto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang geser yang ditinjau, mm^2).Jika kurang dari nilai tersebut maka dinding tersebut dianggap hanya sebagai dinding penumpu (memikul beban gravitasi).

Jenis dinding geser berdasarkan bentuk dinding dibagi atas :

1. Dinding geser sebagai dinding tunggal (Gambar 5.1a)
2. Dinding geser disusun membentuk core (gambar 5.1b)

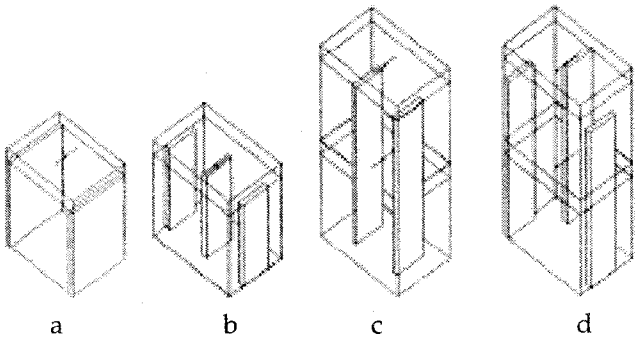


(a) (b)

Gambar 5.1 Dinding Geser Tunggal dan *Core*

Jenis dinding geser berdasarkan variasi susunan dinding geser dalam denah dibagi atas :

1. Dinding geser sebagai dinding eksterior (Gambar 5.2a)
2. Dinding geser sebagai dinding interior (Gambar 5.2b)
3. Dinding geser simetri (Gambar 5.2c)
4. Dinding geser asimetri (Gambar 5.2d)
5. Dinding geser penuh selebar bangunan
6. Dinding geser hanya sebagian dari lebar bangunan



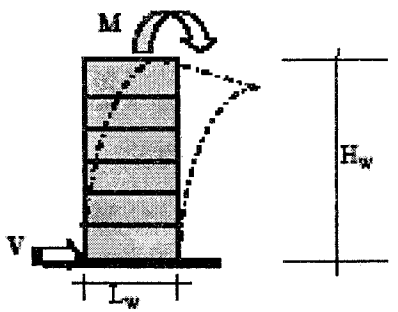
a b c d

Gambar 5.2 Variasi susunan dinding geser

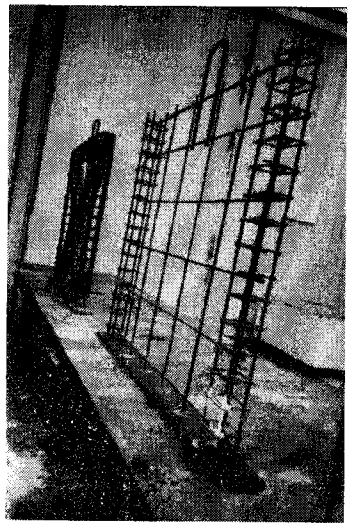
Jenis dinding geser (lihat Gambar 5.3) biasanya dikategorikan berdasarkan geometrinya yaitu:

1. *Flexural wall,* dinding geser dengan rasio $H_W/L_W \geq 2$, desain dikontrol oleh lentur sehingga memiliki rasio perbandingan Momen dan Gaya Geser (M/V) yang tinggi.
2. *Squat wall*, dinding geser dengan rasio $H_W/L_W<2$, dan desain dikontrol oleh geser sehingga memiliki rasio perbandingan M/V yang rendah.

Coupled shear wall, dimana momen yang terjadi pada dasar dinding dikonversikan menjadi gaya tarik tekan yang bekerja pada coupled beam-nya.



Gambar 5.3 Kategori Dinding Geser



Gambar 5.4 Pembesian dinding Geser

5.4 Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)

5.4.1 Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SRPMB adalah struktur tahan gempa untuk gempa kecil Metode ini sering dipakai (efisien) untuk mengantisipasi bangunan pada Wilayah Gempa 1 dan 2 Jika kita lihat Tabel 3 SNI Gempa, faktor reduksi gempa maximum (R max) sistem SRPMBmemiliki nilai anatar 2,6 dan 2,7. Mka penggunaan SRPMB pada wilayah gempa tinggi akan sangat boros pada sisi ekonomi karena menghasilkan dimensi beton yang sangat besar.

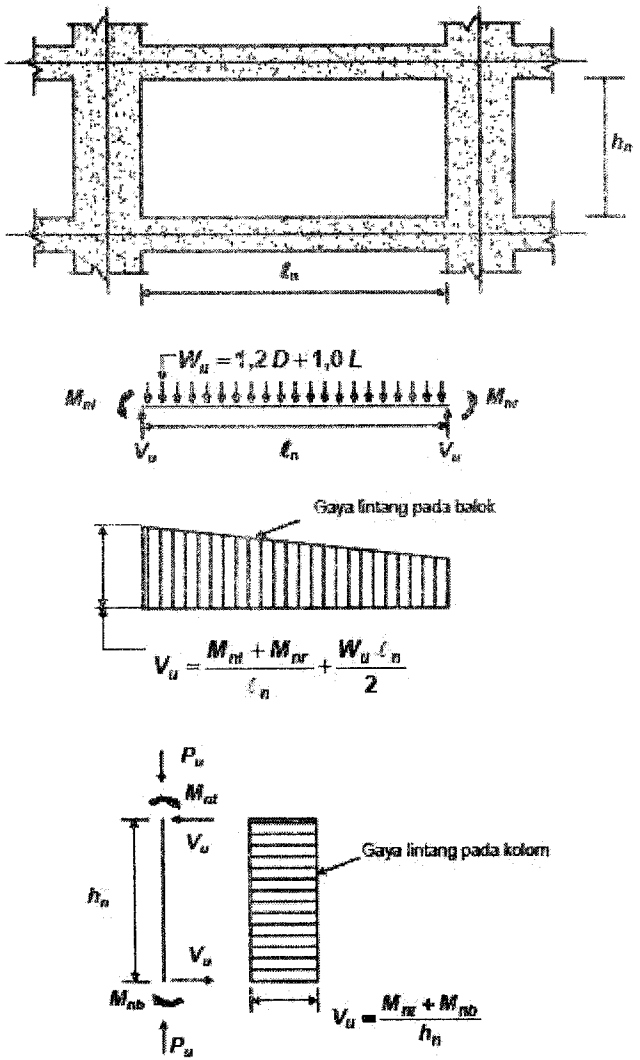
5.4.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Yaitu system rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, system ini pada dasarmnya memiliki daktilitas sedang dan SRPMM (Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah) adalah struktur tahan gempa untuk wilayah gempa menengah, dapat digunakan di Wilayah Gempa 1 hingga Wiliyah Gempa 4. Memiliki Faktor Reduksi Gempa (R) antara 5 ~ 5,5 .

Adapun penjelasan yang lebih rinci (Lihat Gambar 5.5):

1. **Detail penulangan** komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-02 Pasal 23.10(4),bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi (Ag.f'c/10). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi (Ag.f'c/10), maka 23.10(5) harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan 27. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi SNI 03-2847-02 Pasal 23.10(6).
2. **Kuat geser rencana** balok, kolom, dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:
   a. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor (lihat SNI 03-2847-02 Pasal Gambar 47), atau
   b. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban

gempa, E, dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahap gempa.



Gambar 5.5 Gaya Lintang Rencana Untuk SRPMM
(Sumber SNI 03-2847-2002)

3. Balok

a. Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.

b. Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebihdaripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:
   i. d/4,
   ii. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
   iii. 24 kali diameter sengkang, dan
   iv. 300 mm.
   v. Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi d/2.

4. Kolom

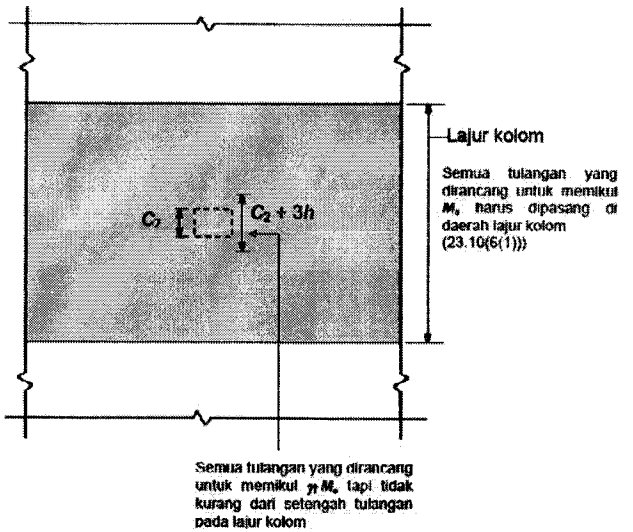
a. Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang 01 dari muka hubungan balok-kolom adalah s0. Spasi s0 tersebut tidak boleh melebihi:
   i. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
   ii. 24 kali diameter sengkang ikat,
   iii. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan
   iv. 300 mm.

v. Panjang l_0 tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:
vi. Seperenam tinggi bersih kolom,

b. Dimensi terbesar penampang kolom, dan
   i. 500 mm.
   ii. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 0,5 s0 dari muka hubungan balok-kolom.
   iii. Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi SNI 03-2847-02 Pasal 13.11(2).
   iv. Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi 2 s0.

5. Pelat dua arah tanpa balok

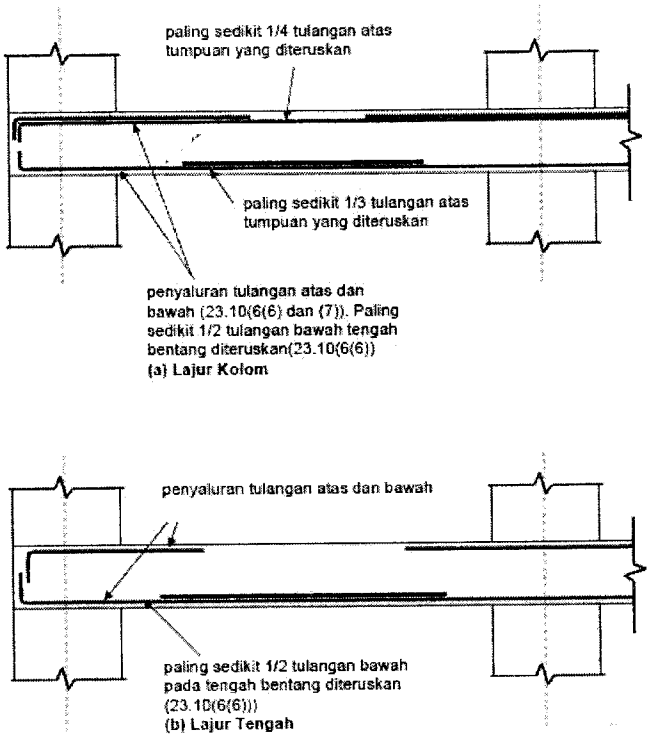
a. Momen pelat terfaktor pada tumpuan akibat beban gempa harus ditentukan untuk kombinasi beban yang didefinisikan pada persamaan 6 dan 7. Semua tulangan yang disediakan untuk memikul Ms, yaitu bagian dari momen pelat yang diimbangi oleh momen tumpuan, harus dipasang di dalam lajur kolom yang didefinisikan dalam SNI 03-2847-02 Pasal 15.2(1).
b. Bagian dari momen Ms yang ditentukan oleh persamaan 89 harus dipikul oleh tulangan yang dipasang pada daerah lebar efektif yang ditentukan dalam SNI 03-2847-02 Pasal 15.5(3(2)).
c. Setidak-tidaknya setengah jumlah tulangan lajur kolom di tumpuan diletakkan di dalam daerah lebar efektif pelat sesuai SNI 03-2847-02 Pasal 15.5(3(2)).



Catatan: Ketentuan ini berlaku untuk tulangan atas dan bawah.

Gambar 5.6 Lokasi Tulangan Pada Struktur Pelat Dua Arah (Sumber SNI 03-2847-2002)

d. Paling sedikit seperempat dari seluruh jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan harus dipasang menerus di keseluruhan panjang bentang.
e. Jumlah tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang daripada sepertiga jumlah tulangan atas lajur kolom di daerah tumpuan.
f. Setidak-tidaknya setengah dari seluruh tulangan bawah di tengah bentang harus diteruskan dan diangkur hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan sesuai SNI 03-2847-02 Pasal 15.6(2(5)).
g. Pada tepi pelat yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada daerah tumpuan harus dipasang sedemikian hingga mampu mengembangkan kuat lelehnya pada muka tumpuan sesuai SNI 03-2847-02 Pasal 15.6(2(5)). Lihat Gambar 5.7.



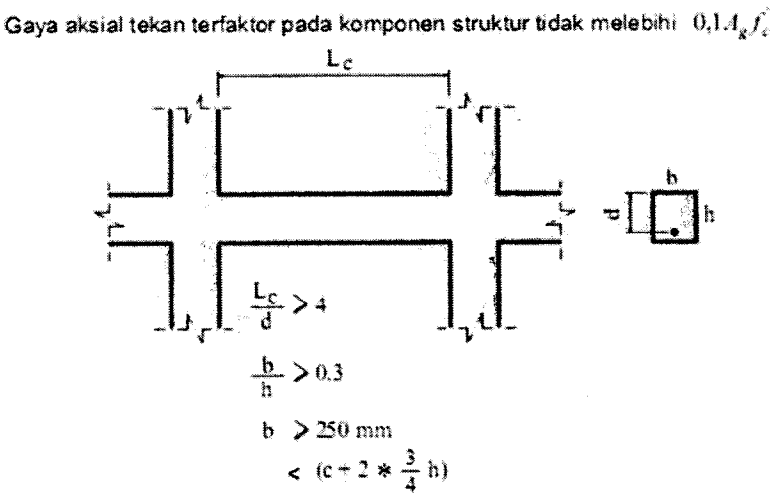
Gambar 5.7 Pengaturan Tulangan Pada Pelat
(Sumber SNI 03-2847-2002)

5.4.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Yaitu sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, system ini pada dasarmnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu di Wilayah Gempa 5 hingga Wilayah Gempa 6. Struktur harus direncanakan menggunakan system penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas

penuh. Memiliki Faktor Reduksi Gempa, (R) antara 8 ~ 8,5 Adapun penjelasan yang lebih rinci:

1. Penggunaan SRPMK dalam balok



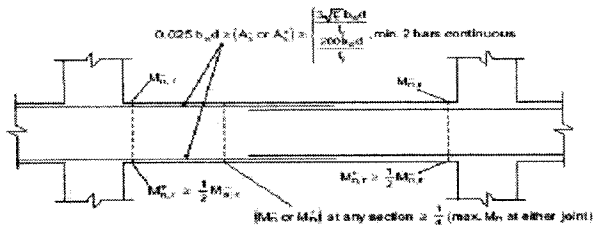
Gambar 5.8 Bentang, dimensi dan gaya Aksial -SRPMK
(Sumber SNI 03-2847-2002)

Pada Gambar 5.8 diatur mengenai ketentuan di mana terdapat pengaruh panjang,b,h dan gaya aksial di batasi sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-02. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini:

a. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi 0,1. Ag.f'c ,
b. entang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
c. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
d. Lebarnya tidak boleh (a) kurang dari 250 mm, dan (b) lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur

pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

2. Tulangan Longitudinal



Gambar 5.9 Pengaturan Penulangan Longitudinal -SRPMK
(Sumber SNI 03-2847-2002)

Komponen struktur SRMPK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut ini :

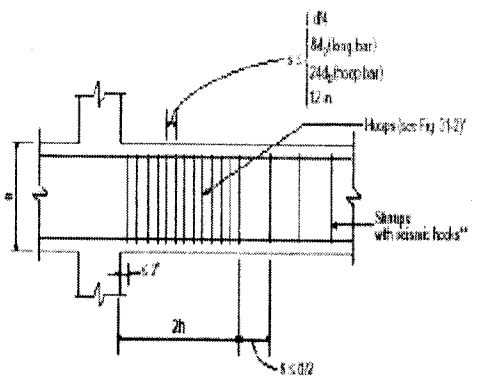
a. Pada setiap irisan penampang komponen struktur lentur, kecuali sebagaimana yang ditentukan jumlah tulangan dan tidak boleh kurang dari $1{,}4.b_w.d/f_y$, dan rasio tulangan $\rho \leq 0{,}025$. Sekurang-kurangnya harus ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang secara menerus.

b. Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

c. Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diizinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak melebihi d/4 atau 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan:
   i. pada daerah hubungan balok-kolom
   ii. pada daerah hingga jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom, dan
   iii. pada tempat-tempat yang berdasarkan analisis, memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastis struktur rangka.

d. Sambungan mekanis harus sesuai SNI 03-2847-02. Pasal 23.2(6) dan sambungan las harus sesuai SNI 03-2847-02. Pasal 23.2(7(1)).

3. Tulangan Transversal

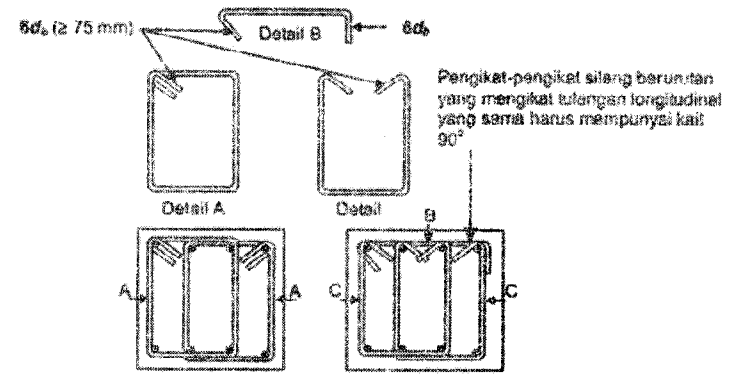


Gambar 5.9 Pengaturan Penulangan Tranversal -SRPMK
(Sumber SNI 03-2847-2002)

Penjelasan Gambar 5.9.:

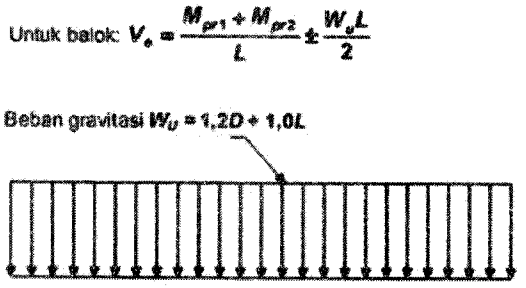
a. Sengkang tertutup harus dipasang pada komponen struktur pada daerah-daerah di bawah ini:
   i. Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
   ii. Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang dimana leleh lentur diharapkan dapat terjadi sehubungan dengan terjadinya deformasi inelastik struktur rangka.
b. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi (a) d/4, (b) delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, (c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang tertutup, dan (d) 300 mm.
c. Pada daerah yang memerlukan sengkang tertutup, tulangan memanjang pada perimeter harus mempunyai pendukung lateral sesuai SNI 03-2847-02. Pasal 9.10(5(3)).
d. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari d/2 di sepanjang bentang komponen struktur ini. Lihat SNI 03-2847-02. Gambar 40.
e. Sengkang atau sengkang ikat yang diperlukan untuk memikul geser harus dipasang di sepanjang komponen struktur seperti ditentukan pada SNI 03-2847-02. Pasal 23.3(3), 23.4(4), dan 23.5(2).
f. Sengkang tertutup dalam komponen struktur lentur diperbolehkan terdiri dari dua unit tulangan, yaitu: sebuah sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang

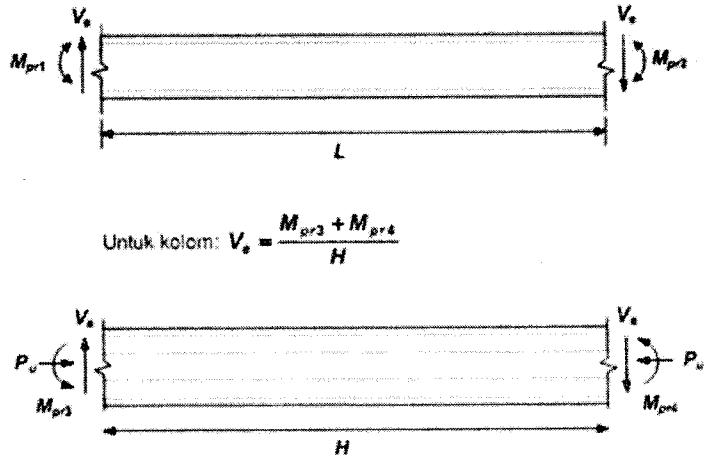
sama, kait 90 derajatnya harus dipasang secara berselang-seling. Jika tulangan memanjang yang diberi pengikat silang dikekang oleh pelat lantai hanya pada satu sisi saja maka kait 90 derajatnya harus dipasang pada sisi yang dikekang.



Gambar 5.10 Contoh Penulangan Tranversal -SRPMK
(Sumber SNI 03-2847-2002)

4. Persyaratan kuat geser





Gambar 5.10 Perencanaan Geser Balok dan Kolom -SRPMK
(Sumber SNI 03-2847-2002)

Penjelasan Gambar 5.11:

a. Gaya rencana

Gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_{pr}, harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

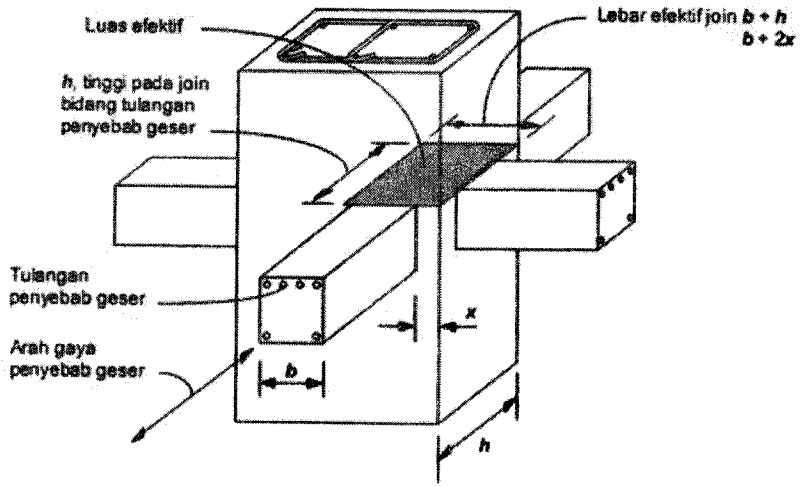
b. Tulangan transversal

Tulangan transversal sepanjang daerah yang ditentukan pada SNI 03-2847-02. Pasal 23.3(3(1)) harus dirancang untuk memikul geser dengan menganggap Vc = 0 bila:

i. Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan 23.3(4(1) mewakili setengah atau lebih daripada kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut, dan

ii. Gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari Ag.f'c/20 .

5. Hubungan balok-kolom pada SRPMK



Gambar 5.11 Luas Efektif Hubungan Balok dan Kolom -SRPMK
(Sumber SNI 03-2847-2002)

Suatu balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya-tidaknya tiga per empat bidang muka hubungan balok-kolom tersebut tertutupi oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok-kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok yang merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom tersebut.

a. Ketentuan umum

i. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25fy.

ii. Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai dengan SNI 03-2847-02. Pasal 11.3.

iii. Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang dan diangkur sesuai dengan SNI 03-2847-02. Pasal 23.5(4) untuk tulangan tarik dan pasal 14 untuk tulangan tekan.

iv. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang daripada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

b. Tulangan transversal

i. Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup sesuai SNI 03-2847-02.Pasal 23.4(4) harus dipasang di dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok-kolom tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur sesuai SNI 03-2847-02 Pasal 23.5(2(2)).

ii. Pada hubungan balok-kolom dimana balok-balok, dengan lebar setidak-tidaknya sebesar tiga per empat lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidak-tidaknya sejumlah setengah dari yang ditentukan pada SNI 03-2847-02 Pasal

23.4(4(1)). Tulangan transversal ini dipasang di daerah hubungan balok-kolom disetinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut.Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal yang ditentukan SNI 03-2847-02 Pasal 23.4(4(2b)) dapat diperbesar menjadi 150 mm.

iii. Pada hubungan balok-kolom, dengan lebar balok lebih besar daripada lebar kolom, tulangan transversal yang ditentukan pada SNI 03-2847-02 Pasal 23.4(4) harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada diluar daerah inti kolom; terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada hubungan tersebut.

c. Kuat geser

i. Kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal.

- Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya..... 1,7. A_j f'c.
- Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan .....1,25. Ajf'c
- Untuk hubungan lainnya .....1,0. A_jf'c

Luas efektif A_j ditunjuukan dalam Gambar 5.11

i. Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada tiga per empat nilai-nilai yang diberikan pada SNI 03-2847-02 Pasal 23.5(3(1)), sepeti dalam butir (i.) di atas

d. Panjang penyaluran tulangan tarik

i. Panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton berat normal tidak boleh

diambil lebih kecil daripada $8d_b$, 150 mm, dan nilai yang ditentukan oleh persamaan berikut ini,

$l_{dh} = f_y.d_b / 5{,}4\ f'c$ ..... (5.1)
untuk diameter tulangan sebesar 10 mm sd 36 mm.

Untuk beton ringan, panjang penyaluran tulangan tarik dengan kait standar 90° tidak boleh diambil lebih kecil daripada $10.d_b$, 190 mm, dan 1,25 kali nilai yang ditentukan persamaan 5.1 di atas. Kait standar 90° harus ditempatkan di dalam inti terkekang kolom atau komponen batas.

ii. Untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik d l tanpa kait tidak boleh diambil lebih kecil daripada
- dua setengah kali panjang penyaluran yang ditentukan pada SNI 03-2847-02 Pasal 23.5(4(1)) bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang daripada 300 mm, dan
- tiga setengah kali panjang penyaluran yang ditentukan pada SNI 03-2847-02 Pasal 23.5(4(1)) bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.

iii. Tulangan tanpa kait yang berhenti pada hubungan balok-kolom harus diteruskan melewati inti terkekang dari kolom atau elemen batas. Setiap bagian dari tulangan tanpa kait yang tertanam bukan di dalam daerah inti kolom terkekang harus diperpanjang sebesar 1,6 kali.

iv. Bila digunakan tulangan yang dilapisi epoksi, panjang penyaluran pada SNI 03-2847-02 Pasal 23.5(4(1)) hingga 23.5(4(3)) harus dikalikan dengan faktor-faktor yang berlaku yang ditentukan pada SNI 03-2847-02 Pasal 14.2(4) atau 14.5(3(6))

5.4.4 Interaksi Dinding Geser Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Kerja sama antara rangka struktur dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifatnya digabungkan. Dari gabungan keduanya diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka. Sistem ini merupakan gabungan dari sistem dinding beton bertulang biasa dan sistem rangka pemikul momen biasa. Kerja sama ini dapat dibedakan menjadi beberapa macam sebagai berikut :

1. Sistem rangka gedung yaitu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Pada sistem ini, beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing. Sistem rangka gedung dengan dinding geser beton bertulang yang bersifat daktail penuh dapat direncanakan dengan menggunakan nilai faktor modifikasi respon, R, sebesar 6,0.

2. Sistem ganda, yang terdiri dari:
   a. Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi.
   b. Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral.
   c. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan emperhatikan interaksi /sistem ganda.
   Nilai R yang direkomendasikan untuk sistem ganda dengan rangka SRPMK adalah 8,5.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2002, **Standar Nasional Indonesia 03 – 2847 – 2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton,Untuk Bangunan Gedung** , Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah ,Badan Penelitian Dan Pengembangan Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung , Indonesia

Anonim, 2002, **Standar Nasional Indonesia 03 – 1726 – 2002 : Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung** , Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah ,Badan Penelitian Dan Pengembangan Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung , Indonesia

Anonim, 1989, **SNI 03-1727-1989 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung,** Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah ,Badan Penelitian Dan Pengembangan Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung , Indonesia

Anonim, 2002, . **SNI 03-2729-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung,** Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah ,Badan Penelitian Dan Pengembangan Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung , Indonesia

Solikin M. ,2007,**Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Portal Beton Bertulang**

Terhadap Stabilitas Struktur Yang Mengalami Beban Gempa, Jurnal Dinamika TEKNIK SIPIL, Volume 7, Nomor 1, Januari 2007 : 37 – 44.

Paulay, T, Priestley, M.J.N, 1992, **Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building**, Jhon Wiley and Sons, Inc.,

Imam Satyarno, 2002, Analisis Dinamik Struktur dan Teknik Gempa, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Widodo. 2001. **Respon Dinamik Struktur Elastik**. Yogyakarta : UII Press